

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**Sistema para pontuação em tempo real de um alvo  
de tiro desportivo**

Bruno Miguel Brito Andrade

VERSÃO FINAL

Dissertação/Relatório de Projeto realizada(o) no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Major Automação

Orientador: Professor Armando Luís Sousa Araújo

25 de Junho de 2017



# Resumo

O tiro ao alvo é uma das mais antigas modalidades olímpicas, que teve a sua origem na utilização bélica das armas de fogo.

Caracteriza-se por uma modalidade desportiva onde é avaliado a precisão do disparo do atirador, sendo atribuído pontuação consoante a distância da marca do disparo ao centro do alvo.

Desde os seus modelos primórdios que esta modalidade tem vindo a evoluir, não só na confeção das armas que permitem a sua prática, mas também na captação e análise dos resultados que fazem parte desta prova, uma vez que se pretende que estes sejam mais precisos e rápidos possível.

Atualmente, na organização das provas de tiro ao alvo, é prática comum a utilização de meios tecnológicos que permitam a contagem e observação em tempo real dos resultados por todos os constituintes desta prova.

Esta dissertação tem como objetivo a execução de um modelo funcional de um sistema, que permita a obtenção e calculo automático da pontuação em tempo real de um alvo de tiro desportivo.

As características do alvo utilizado para este projeto foram baseadas no regulamento definido pela ISSF (*International Shooting Sport Federation*), que se trata de uma organização que gere a prática de tiro de precisão a nível internacional.

No decurso deste documento, são descritas todas as etapas de desenvolvimento para a concretização deste protótipo, assim como a tecnologia e as metodologias utilizadas.

**Palavras-Chave:** Detecção de Impactos, *OpenCV*, *Python*, Processamento de Imagem e *Raspberry Pi*.



# Abstract

The target shooting is one of the oldest Olympic modalities, which had its origin in the use of firearms.

It is characterized by a sporting modality where the accuracy of the shooters firing is evaluated, with a score marked from a distance from the firing mark to the center of the target.

Since its primordial models in the modality have been evolving, not only in the confection of weapons, but also in capturing and analyzing the results that are part of this test, since it is intended that these become more accurate and the fastest possible.

Currently, in the organization of shooting events, it is common practice to use technological means that allow real time counting and observation of results by all constituents of this test.

This dissertation aims at the execution of an operational model of a system, which allows obtaining and calculating a real-time score of a shooting target.

The characteristics of the target used for this project were based with regulation defined by the ISSF (International Shooting Sport Federation), which is an organization with a practice of international precision shooting.

In the course of the document, the development steps for an embodiment of this prototype will be described the involved technology and methodology.

**Keywords:** Image Processing, Impact Detection, Infrared, OpenCV, Python and Raspberry Pi.



# Agradecimentos

Quero aproveitar este espaço para dirigir algumas palavras sinceras de gratidão a todos aqueles que possibilitaram a realização deste trabalho e que me acompanharam durante a minha vida acadêmica.

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, ao Professor Armando Araújo, pelo apoio e disponibilidade demonstrados, não só durante este projeto, mas também ao longo do meu percurso acadêmico.

Agradeço também aos meus colegas de trabalho da empresa IPTE, particularmente aos irmãos Rui Oliveira e Sérgio Oliveira e Marcelo Teixeira pela ajuda dada na construção do protótipo utilizado neste projeto, ao André Pinho pela ajuda na aplicação das funções de visão, e a todos os restantes colegas que me apoiaram e estiveram ao meu lado durante todo este período.

Agradeço também à Rita, por tudo o que representa para mim e por ter feito de mim uma pessoa melhor.

Agradeço também aos meus Amigos e Família, pela amizade e parceria durante esta longa caminhada.

Finalmente gostaria de agradecer de forma muito especial aos meus pais, por tudo o que fizeram por mim.

Muito obrigado!





*“Persistence is the shortest path to success!”*

Charles Chaplin



# Índice

<b>Resumo .....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>III</b>
<b>Agradecimentos.....</b>	<b>V</b>
<b>Índice .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Abreviaturas e Símbolos .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
Introdução .....	1
1.1. Contexto.....	1
1.2. Motivação.....	2
1.3. Objetivo .....	3
1.4. Metodologia .....	3
1.5. Estrutura da dissertação.....	4
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>5</b>
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1. Tiro desportivo .....	5
2.1.1. ISSF [8] .....	5
2.1.2. Regulamento Técnico da ISSF [8] .....	6
2.2. Detecção de impactos.....	6
2.2.1. Método de deteção manual .....	6
2.2.2. Método de deteção baseados em acústica .....	7
2.2.3. Métodos de deteção baseados em sensores fotoelétricos.....	9
2.2.5. Reflexão final sobre os métodos existentes .....	10
2.3. Processamento de Imagem .....	11
2.3.1. Funções utilizadas nos métodos de deteção baseados em visão .....	12
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>17</b>

3.	<i>Hardware</i> .....	17
3.1.	Computador de Placa Única - SBC .....	17
3.2.	Câmara.....	18
3.3.	Alvo.....	19
3.3.1.	Constituição do alvo .....	19
3.3.2.	Idealização de um novo alvo .....	20
3.4.	Iluminação Infravermelha .....	21
3.5.	Protótipo .....	22
	<b>Capítulo 4</b> .....	<b>25</b>
4.	<i>Software</i> .....	25
4.1.	<i>Software</i> utilizado .....	25
4.2.	Visão global .....	26
4.2.1.	Calibração.....	27
4.2.2.	Centro do alvo.....	32
4.2.3.	Deteção de Impactos .....	35
	<b>Capítulo 5</b> .....	<b>39</b>
5.	Resultados.....	39
5.1	Obtenção de resultados .....	39
5.2.	Comparação e análise.....	42
	<b>Capítulo 6</b> .....	<b>47</b>
6.	Conclusão e Trabalho Futuro .....	47
6.1	Conclusão .....	47
6.2	Trabalho Futuro.....	48
	<b>Referências</b> .....	<b>49</b>

## Lista de figuras

Fig. 2.1 - Figura ilustrativa do sistema de alvo eletrónico HEXTA.....	7
Fig. 2.2 - Figura ilustrativa do sistema da série S101 da SIUS .....	8
Fig. 2.3 - Figura ilustrativa do sistema 4K560 da empresa Megalink .....	8
Fig. 2.4 - Figura ilustrativa do sistema LS10 LASERSCORE da empresa SIUS .....	9
Fig. 2.5 - Figura ilustrativa do sistema HS25/50 HYBRIDSCORE da empresa SIUS.....	9
Fig. 2.6 - Figura ilustrativa do sistema TG 6050 HS da empresa POLYTRONIC .....	10
Fig. 2.7 - Figura ilustrativa da função BLUR .....	12
Fig. 2.8 - Figura ilustrativa da função GAUSSIAN BLURRING .....	12
Fig. 2.9 - Figura ilustrativa da função MEDIA BLURRING .....	13
Fig. 2.10 - Figura ilustrativa da função CANNY .....	13
Fig. 2.11 - Figura ilustrativa do algoritmo Recursos de Contorno .....	14
Fig. 2.12 - Figura ilustrativa do algoritmo de Transformação geométrica da imagem.....	14
Fig. 2.13 - Figura ilustrativa da função de Thresholding .....	15
Fig. 2.14 - Figura ilustrativa do algoritmo de Hough.....	15
Fig. 2.15 - Figura ilustrativa do algoritmo de Blob Detection .....	16
Fig. 3.1 - Raspberry Pi 3 model B.....	18
Fig. 3.2 - Módulo PI NoIR Camera V2.....	18
Fig. 3.3 - Módulo PI NoIR Camera V2.....	19
Fig. 3.4 - Modelo para um novo alvo .....	20
Fig. 3.5 - Modelo para um novo alvo .....	20
Fig. 3.6 e Fig. 3.7 - Iluminação Infravermelha .....	21

Fig. 3.8 - Hip. 1 - Iluminação diretamente voltada para a câmara - incandescência .....	22
Fig. 3.9 - Hip. 2 - Iluminação localizada a baixo da câmara - enaltece o contorno .....	22
Fig. 3.10 - Protótipo do Sistema .....	22
Fig. 3.11 - Protótipo do Sistema - Pormenores.....	23
Fig. 4.1- Manipulação da imagem em Photoshop .....	26
Fig. 4.2- Aquisição da imagem .....	28
Fig. 4.3- Aplicação da função de Median Blur .....	28
Fig. 4.4- Aplicação da função Grayscale .....	29
Fig. 4.5- Aplicação do função Canny .....	29
Fig. 4.6- Aplicação do algoritmo Contours .....	30
Fig. 4.7 - Reconhecer o contorno do quadrilátero.....	31
Fig. 4.7 - Coordenadas dos cantos do alvo.....	31
Fig. 4.9 - Transformar a perspectiva da imagem.....	33
Fig. 4.9 - Aplicação da função Thresholder inverso .....	33
Fig. 4.11 - Aplicação do algoritmo Hough circles .....	34
Fig. 4.11 - Coordenadas do centro do alvo .....	34
Fig. 4.13 - Transformação da perspectiva da imagem .....	36
Fig. 4.14 - Tresholder para captação dos disparos .....	36
Fig. 4.15 - Aplicação do algoritmo Findblob.....	37
Fig. 4.16 - Gráfico da Relação entre a Pontuação com a Distância mínima e máxima .....	38
Fig. 5.1 - Pontuação de um disparo .....	40
Fig. 5.2 - Informação da pontuação do disparo na consola .....	40
Fig. 5.3 - Pontuação de 15 disparos.....	41
Fig. 5.4 - Informação da pontuação dos 15 disparos na consola .....	41
Fig. 5.5 - Resultado de HoughCircles .....	43
Fig. 5.6 - Calibração da imagem através de marcas de calibração.....	44
Fig. 5.7 - Limite superior do alvo - observação da deformação.....	44
Fig. 5.8 - Explicação dos erros de pontuação nos disparos P2 e P3 .....	45

# Lista de tabelas

Tabela 4.1- Relação entre a Pontuação com a Distância mínima e máxima .....	37
Tabela 5.1 - Comparação da Distância (mm) - Protótipo VS Referência .....	42
Tabela 5.2 - Comparação da Pontuação - Protótipo VS Referência .....	42
Tabela 5.3 - Variação do erro da pontuação em relação ao erro da distância .....	45

# Abreviaturas e Símbolos

cm	Centímetros
DEEC	Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
ISSF	<i>International Shooting Sport Federation</i>
mm	milímetros
<i>OpenCV</i>	<i>Open Source Computer Vision Library</i>
<i>NoIR</i>	<i>No infrared</i>
<i>LPF</i>	<i>Low Pass Filter</i>



# Capítulo 1

## Introdução

No presente capítulo pretende-se clarificar o tema sobre o qual se vai refletir neste documento, assim como a estrutura pela qual este se organizará.

Propõe-se como objetivo para este trabalho criar um sistema, baseado na tecnologia da visão, capaz de obter e analisar dados provenientes de um alvo de tiro desportivo, em tempo real.

Começar-se-á primeiramente pela contextualização histórica da prática do tiro ao alvo em Portugal, explicando o que motivou a escolha do projeto apresentado, assim como, os objetivos estabelecidos para este projeto.

### 1.1. Contexto

As armas de fogo surgiram primeiramente com um desígnio bélico e só posteriormente é que passaram a ter um fim desportivo.

Deve-se também à prática militar a origem do tiro como desporto, uma vez que, as linhas de tiro utilizadas nos combates serviram como modelo para as primeiras competições.

A prática de tiro ao alvo começou a fazer parte da família olímpica desde o seu aparecimento, dado que nos primeiros Jogos Olímpicos, realizados em Atenas em 1896, já se podia encontrar esta modalidade, que é agora um dos maiores e mais populares desportos olímpicos.

Atualmente é a ISSF, *International Shooting Sport Federation*,[\[12\]](#) que já conta com 100 anos de existência, a organização a nível internacional que administra este desporto.

A evolução desta modalidade desportiva, acompanhou a rápida evolução tecnológica dos últimos anos, pois o uso de novas tecnologias na sua prática permitiu agilizar os processos de obtenção das pontuações, tornando-os menos complexos, assim como, mais rápidos e eficazes.

A prática de tiro desportivo em Portugal, tal como nos outros países, esteve em primeiro lugar intrinsecamente ligada à atividade militar, com o intuito de formar os cidadãos para a defesa do

país, sendo que posteriormente se foi autonomizando e criando os seus vínculos como atividade desportiva.

Atualmente em Portugal, existem duas federações que coordenam a modalidade, sendo que uma administra o tiro desportivo realizado com bala e outra o tiro desportivo realizado com armas de caça, sendo que a Federação Portuguesa de Tiro é a representante da primeira modalidade.

Embora a sua ligação à atividade militar fosse a base de criação desta modalidade, este facto teve alguns pontos negativos no seu desenvolvimento, dado que foram utilizadas as Carreiras de Tiro Militares para a sua prática durante muito tempo, criando uma falha no que toca à criação de infraestruturas próprias para a prática da modalidade em si.

Atualmente, o tiro desportivo já oferece formação específica na área, potenciando o desenvolvimento deste desporto, contando com alguns êxitos internacionais na atualidade.[\[6\]](#)

As modalidades praticadas de tiro em Portugal são: o Tiro Desportivo de Precisão, o Tiro Olímpico e o Tiro não Olímpico. [\[7\]](#)

## **1.2. Motivação**

Antes de existirem classificadores eletrónicos, os alvos eram analisados manualmente, através da inspeção visual e com auxílio de calibradores quando se pretendia uma análise mais precisa.

Esta metodologia de análise, além de requerer bastante tempo, está dependente da logística associada e recursos humanos, pondo em causa a prática deste desporto de uma forma rentável

A partir dos anos 80 começaram a ser utilizados os primeiros sistemas eletrónicos de classificação, que se estrearam com grande sucesso nos jogos olímpicos de 1990.

Este sistema permitiu aos espectadores acesso às classificações, instantes após ocorrer o disparo, sendo que hoje em dia existe uma vasta variedade de equipamentos para o efeito.

Estes sistemas utilizados em carreiras de tiros são bastante dispendiosos e geralmente pouco flexíveis, concebidos para operar em tipos específicos de alvos, tendo um mercado de oferta muito reduzido.

Assim, a idealização e desenvolvimento de uma solução com menores custos de produção e utilização, será uma mais-valia para toda a comunidade de praticantes de tiro desportivo, tendo como objetivo proporcionar um momento de competição e treino mais estimulante para quem o pratica, devido à sua rapidez e acessibilidade na captação dos resultados.

Existe atualmente um diferenciado leque de soluções recorrentes a diferentes tecnologias como o processamento de som, luz e imagem.

Surgiu assim o desafio de implementar um protótipo com um sistema baseado em visão.

### 1.3. Objetivo

De modo a definir os objetivos do projeto efetuou-se um levantamento das necessidades e problemáticas associados à prática de tiro ao alvo.

Para a eficácia do sistema de pontuação, é preciso ter em conta alguns fatores decisivos, tais como:

- o reconhecimento automático de padrões e furos;
- a análise do impacto, que passará por estabelecer o ponto médio de impacto.
- o calculo da pontuação em tempo real.

Os sistemas correntemente utilizados para a pontuação do tiro no alvo, sejam o sistema manual ou acústico, estão abrangidos por algumas desvantagens que poderão ser colmatadas com a introdução de um sistema de deteção de impactos através da visão.

Por exemplo, uma das desvantagens do sistema manual é a fraca captação do impacto no alvo, uma vez que o que se pretende registar para a obtenção de pontuação nesta modalidade é o ponto mais próximo do centro do alvo.

Relativamente ao sistema acústico, é um sistema que requer muito equipamento especializado, assim como operadores especializados que o saibam manipular, o que o torna naturalmente mais dispendioso e também mais lento na captação dos resultados obtidos.

O objetivo desta dissertação passa então pelo desenvolvimento de um protótipo capaz de captar, em tempo real, a pontuação de alvos de tiro através da tecnologia da visão, segundo as normas estabelecidas pela ISSF (*International Shooting Sport Federation*).[\[12\]](#)

Com este protótipo pretendeu-se reunir características de desempenho adequado, isto é, com um tempo de resposta global idêntico ou melhor que os sistemas convencionais. Para isso, pretendeu-se criar um sistema economicamente mais apelativo, com custos de produção e utilização mais reduzidos, que permitisse o tratamento dos dados de forma mais rigorosa e com maior rapidez.

### 1.4. Metodologia

Para a identificação e leitura automática dos impactos nos alvos deixados pelos tiros efetuados pelo disparador, definiram-se algumas características que o sistema baseado na visão por computador deve possuir.

A primeira dessas características passa pela captação da imagem, ou seja, pretende-se obter uma fotografia do alvo que permita a sua análise e, posterior tratamento da informação adquirida.

Depois de captada a imagem supramencionada, o sistema deverá ser capaz de relacionar a mancha do disparo com o centro do alvo, assim como, com os círculos de pontuação que o constituem, de modo a conseguir ter uma leitura da pontuação obtida.

Computorizados os resultados, o sistema deverá permitir a visualização dos resultados através de um dispositivo de fácil utilização, que permita a quem dele usufruir rapidez e eficácia na obtenção da pontuação atribuída a cada impacto, assim como, a pontuação total.

## **1.5. Estrutura da dissertação**

O presente documento é constituído por seis capítulos.

No capítulo 1, Introdução, são apresentados: o contexto, a motivação que levou à realização deste projeto, o objetivo e a metodologia utilizada.

No capítulo 2, Revisão Bibliográfica, é em primeiro lugar feito um pequeno resumo sobre a ISSF (*International Shooting Sport Federation*) [12] e as regras intuídas por esta instituição na pratica de tiro ao alvo.

E também realizado um levantamento dos sistemas de deteção já existentes no mercado.

Por fim, é realizada uma revisão bibliográfica, descrevendo métodos de processamento e análise de imagem digital bem como algoritmos matemáticos relevantes para a execução do projeto

No capítulo 3, Descrição do Sistema, apresenta-se o sistema produzido para a realização deste projeto, bem como o hardware utilizado para a construção do protótipo pretendido.

No capítulo 4, Proposta de *Software*, é apresentado os processos utilizados na realização do projeto.

No capítulo 5, Resultados, são apresentados os resultados conseguidos com o sistema desenvolvido, especificando as várias fases de captação e tratamento de imagem.

Por fim, no capítulo 6, Considerações Finais, apresentam-se as principais conclusões relativas à realização do trabalho, bem como possíveis melhorias que poderão ser futuramente desenvolvidas.

## Capítulo 2

### 2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é apresentado a pesquisa bibliográfica efetuada, que foi fundamental para consolidação deste trabalho.

Em primeiro lugar, dado que o projeto que se propõe tem como base as regras da modalidade de tiro desportivo ISSF [12], pretende-se explicar algumas regras intrínsecas a este desporto.

Em seguida, importa também referir alguns métodos de deteção de impactos utilizados nesta modalidade, dando exemplos de métodos acústicos, manuais e fotossensíveis aprovados pela ISSF.

Por fim, é feita uma breve abordagem das funções utilizados neste sistema para o processamento de imagem em *OpenCV*, que foram essenciais na realização deste projeto.

#### 2.1. Tiro desportivo

##### 2.1.1. ISSF [8]

A ISSF [12] é a instituição a nível internacional que institui as regras técnicas para a modalidade de tiro ao alvo, tendo como objetivo estabelecer uma coesão deste desporto a nível Mundial e assim promover o seu desenvolvimento.

Para isso, foi criado por esta instituição um regulamento chamado o **Regulamento Técnico da ISSF** [8], que inclui as normas para a execução das carreiras de tiro, para os alvos, assim como, para a classificação em todas as disciplinas de tiro, sejam, a Carabina, Pistola, Alvo Móvel e Armas de Caça.

No parágrafo seguinte serão descritas de uma forma geral, algumas das especificidades que a ISSF define e que foram tidas em conta na realização deste projeto, sendo que, serão mais pormenorizadas nos capítulos finais com o desenvolvimento do trabalho.

### 2.1.2. Regulamento Técnico da ISSF [8]

De seguida especificam-se alguns pontos-chave retirados das regras instituídas pela ISSF, presentes no Regulamento Técnico atualmente em vigor, e que serviram de base orientadora a este trabalho.

- O alvo de papel deve ser de cor e material baços para que a zona em que os atletas pretendem acertar seja claramente visível em condições regulares de luminosidade e à distância adequada.
- Tanto o alvo como os círculos de marcação devem manter todas as medidas intactas, sendo que não podem ser influenciados por condições climáticas.
- Os impactos nos alvos não devem provocar rasgos ou distorções excessivas na sua forma, pois podem influenciar a pontuação.
- Nas competições todos os alvos estão equipados com o Sistema Eletrónico de Alvos, que inclui um alvo com o seu próprio mecanismo eletrónico, um monitor, uma impressora para registar o valor de tiro e um mostrador para que os espectadores possam ver as pontuações em tempo real.
- As carreiras de tiro são constituídas por uma Linha de Alvos e uma Linha de Tiro, que devem ser paralelas entre si. A distância entre elas é definida pela ISSF, bem como a distância a céu aberto que as devem envolver.
- Os alvos devem ter uma fixação forte para que não se movam perante condições climáticas adversas.
- As distâncias de tiro devem ser tão precisas quanto possível, embora possam permitir-se algumas variações:  $300\text{ m} \pm 1.00\text{ m}$ ,  $50\text{ m} \pm 0.20\text{ m}$  e  $25\text{ m} \pm 0.10\text{ m}$ .
- A ISSF tem definida a altura do centro do alvo ao chão, bem como, as variações horizontais dos centros dos alvos nas carreiras para Carabina e Pistola.

## 2.2. Detecção de impactos

A deteção de impactos é fundamental para proceder à classificação do respetivo impacto em tempo real, sendo efetuada com o auxílio das metodologias apresentadas de seguida.

### 2.2.1. Método de deteção manual

O método de deteção manual foi o primeiro método de deteção de tiro ao alvo.

Consiste em avaliar o alvo através da detecção visual feita por um Juiz que mede a distância a que se encontram os buracos deixados pelos disparos efetuados ao centro, recorrendo a um mecanismo de medida manual.

Porém, este tipo de captação de resultados, está sujeito a muitas limitações, nomeadamente no que toca ao tempo de captação dos resultados, pois é um método muito demorado devido a toda a logística que envolve e também devido aos recursos humanos que mobiliza.

Outra desvantagem deste método é a imprecisão dos furos deixados pelos disparos nos alvos, que podem induzir o juiz em erro, pois se estiverem sobrepostos, torna-se mais difícil estabelecer o seu centro e a posterior medição da distância deste ao centro do alvo.

Embora seja pouco preciso, ainda hoje é utilizado usualmente.

### 2.2.2. Método de detecção baseados em acústica

#### eTarget system HEXTA-001



Fig. 2.1 - Figura ilustrativa do sistema de alvo eletrónico HEXTA

O sistema de alvo eletrónico HEXTA foi desenvolvido por uma equipa de engenheiros australianos.

O eTarget system HEXTA-001 [10] é um método de detecção baseado em acústica, que funciona com uma câmara acústica, que se traduz pelo espaço fechado formado dentro de uma moldura, materializando o alvo quando duas membranas de borracha são esticadas sobre as suas duas faces.

Os sensores acústicos são montados dentro da câmara na moldura perimetral e detetam ondas acústicas que se propagam dentro da câmara.

Quando um projétil penetra na membrana de borracha dianteira, a frente da onda acústica externa é bloqueada pela membrana.

À medida que o projétil entra na câmara, uma nova frente de onda é gerada a partir do ponto de penetração; esta frente de onda irradia para fora e é detetada pelos sensores.

### S101



**Fig. 2.2 - Figura ilustrativa do sistema da série S101 da SIUS**

A SIUS [26] é uma empresa a nível mundial de sistemas de pontuação eletrónica, que também tem alguns modelos de sistemas que utilizam métodos de deteção baseados em acústica, como é o exemplo que se segue.

O sistema da série S101 [29], exemplificado na figura, recorre a medição acústica com quatro microfones colocados no suporte do alvo, detetando a posição do impacto no alvo.

Para um melhor desempenho do sistema é recomendado a montagem de uma placa para melhor identificação da origem do tiro.

### 4K560



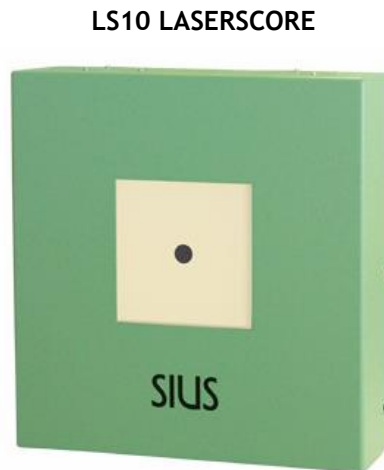
**Fig. 2.3 - Figura ilustrativa do sistema 4K560 da empresa Megalink**

O alvo 4K560 da empresa Megalink [15], é também um alvo aprovado pela ISSF. [12] Podem ser usados com placas de mira para rifle de 50 metros e pistola de 50 metros.



É uma tecnologia patenteada para medir a forma das ondas sonoras e, assim, determinar o estado da câmara de detecção de um alvo.

### 2.2.3. Métodos de detecção baseados em sensores fotoelétricos

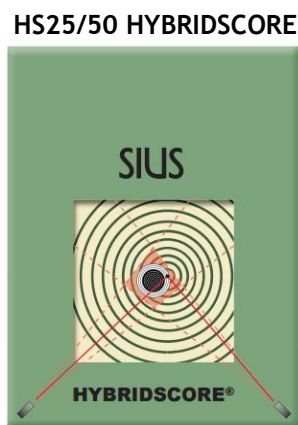


**Fig. 2.4** - Figura ilustrativa do sistema LS10 LASERSCORE da empresa SIUS

A SIUS [26] comercializa também sistemas da série LS [28] que utilizam sensores fotoelétricos em conjunção com feixes infravermelho para detetar o local de impacto no alvo, como o sistema LS10 LASERSCORE ilustrado na imagem seguinte.

O alvo S10 foi projetado para todas as pistolas de ar (distância de 10 a 20 metros). Equipado com uma armadura frontal reforçada e uma armadilha de bala correspondente, pode ser usado também para rifles de pequeno calibre de 50m.

### 2.2.4. Método de detecção híbrido



**Fig. 2.5** - Figura ilustrativa do sistema HS25/50 HYBRIDSCORE da empresa SIUS

O sistema HS25/50 HYBRIDSCORE [27] é um sistema híbrido que conjuga a componente de detecção acústica com a componente de detecção através de infravermelhos.

Esta nova tecnologia permite a detecção de projéteis com uma excelente precisão.

#### POLYTRONIC TG 6050 HS



**Fig. 2.6 - Figura ilustrativa do sistema TG 6050 HS da empresa POLYTRONIC**

O sistema TG 6050 HS [24], é patente da empresa POLYTRONIC e é também um sistema híbrido de detecção de impactos.

E tal como o sistema descrito anteriormente, conjuga a detecção acústica com a detecção através de infravermelhos.

#### 2.2.5. Reflexão final sobre os métodos existentes

Os sistemas que atualmente existem no mercado apresentam algumas soluções bastante eficientes, porém com algumas desvantagens que serviram de mote para a motivação deste trabalho.

Por exemplo, por vezes os e-targets de detecção acústica estão expostos a uma ampla gama de fontes de erro, como por exemplo: ventos cruzados, ângulo de alinhamento do atirador ao alvo (causando erros laterais), inclinação para a frente do alvo (causando erros verticais), interferência de tiros em alvos adjacentes (causando erros grosseiros e disparos perdidos). [10]

O preço elevado dos sistemas aliados a uma instalação complexa, são dois fatores que podem ser melhorados num sistema de detecção de impactos.

## 2.3. Processamento de Imagem

Entende-se por processamento de imagens a captação de imagens, tais como, fotografias ou vídeo, através do processamento dos seus dados.

No processamento de imagem, a preocupação vai para além do tratamento de imagem, sendo que, é pretendido o reconhecimento da imagem através da tecnologia, para que dela se possa retirar informação.

Com a evolução dos computadores, passou-se a utilizar o processamento de imagem digital em oposição ao processamento de imagem de forma analógica, através de dispositivos óticos, sendo que, o processamento digital de imagem é na generalidade mais versátil, preciso e mais fácil de implementar.

Uma imagem pode-se definir como uma função bidimensional  $f(x, y)$ , em que o  $x$  e o  $y$  são coordenadas no espaço, e o  $f$  é a amplitude definida como a intensidade, ou seja, o nível de cinza na imagem num ponto.

Uma imagem digital é constituída por pixéis, ou seja, entidades captadas cujos valores de  $x$ ,  $y$  e  $f$  são quantidades possíveis e finitas, e as suas localizações e valores têm números específicos.

As fases de processamento de uma imagem passam por diversas fases, sendo estas: a aquisição dos dados, o pré-processamento, a segmentação, a extração de atributos, o reconhecimento, e por fim, a sua interpretação. [14]

O processamento de imagens é utilizado atualmente para diversos fins, por exemplo, no campo da medicina, este processo tem adquirido cada vez mais um papel preponderante no seu desenvolvimento, pois através da visão computacional é hoje possível detetar e analisar lesões no ser humano, assim como, orientar e guiar operações cirúrgicas.

Outro campo em que o processamento da imagem tem um papel importante é o campo da Realidade Virtual. Aqui o processamento de imagem permite a recriação uma realidade para um indivíduo, realizada em tempo real, com o uso de tecnologias e equipamentos computacionais.

Da mesma forma, é também o processamento de imagens que permite a perceção de Realidade Aumentada, pois a combinação que executa do processamento de dados obtidos das imagens que capta da envolvente e do ambiente real, permite uma perceção do espaço ampliada, impossível de perceber analogicamente, sem recorrer a tecnologia digital. [5]

A tecnologia da imagem, pode-se dividir genericamente em três estágios.

A primeira, Processamento de Imagem, traduz-se na captação de uma Imagem baseada numa inicial, em que algumas características dessa imagem são realçadas.

A segunda, a Análise de Imagem, define-se como a extração de Informação Conceptual de Imagens, onde são aplicadas as técnicas de Processamento de Imagem.

Na última fase, a Visão Computacional, utiliza os sistemas de Análise de Imagem, ou a utilização de modelos de Inteligência Artificial, que definem decisões com base na informação fornecida pelos primeiros.[23]

O OpenCV, Open Source Computer Vision Library, é uma biblioteca totalmente livre ao uso acadêmico e comercial para o desenvolvimento de aplicações na área da visão computacional.

### 2.3.1. Funções utilizadas nos métodos de detecção baseados em visão

#### 2.3.1.1. *Blur*

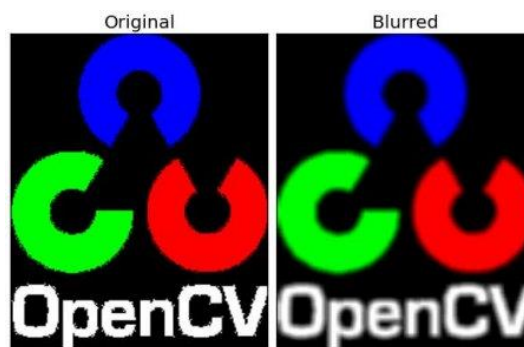


Fig. 2.7 - Figura ilustrativa da função BLUR

Os Low-Pass filter, LPF, são filtros que permitem a passagem de baixas frequências e atenuam a amplitude das frequências mais altas do que a frequência definida para corte.

Ao removerem a frequência mais alta, estes filtros ajudam a remover ruído das imagens e desfocam-nas, sendo que, as imagens ficam com os contornos algo esbatidos.

Seguidamente enumerar-se-á algumas das técnicas de *Blur* [22] que a *OpenCV* dispõe e que foram utilizados no âmbito deste trabalho.

#### 2.3.1.1.1. *Gaussian blurring*

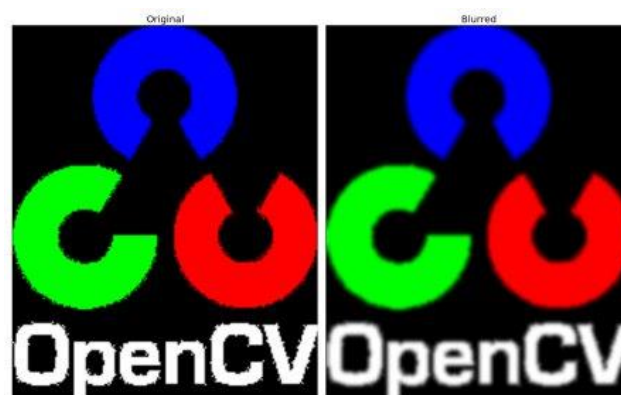


Fig. 2.8 - Figura ilustrativa da função GAUSSIAN BLURRING

O filtro apresentado na imagem a cima é o filtro gaussiano, que é altamente eficaz na remoção do ruído gaussiano da imagem.

O efeito visual desta técnica de desfocagem é um desfoque liso que se assemelha ao de visualizar a imagem através de uma tela translúcida.

O desfoque gaussiano também é usado como fase de pré-processamento em funções de visão computacional, a fim de melhorar as estruturas da imagem em diferentes escalas.

### 2.3.1.1.2. Median blurring

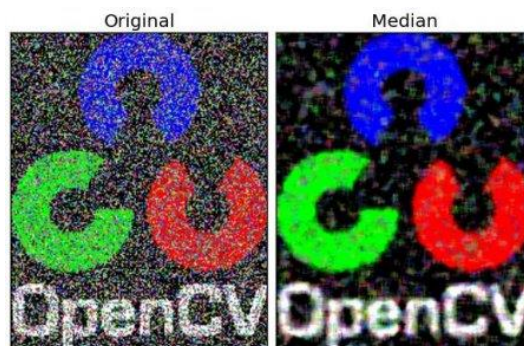


Fig. 2.9 - Figura ilustrativa da função MEDIA BLURRING

Neste tipo de filtro é calculada a mediana de todos os pixels na área do núcleo e o elemento central é substituído por esse valor médio.

Este filtro é muito eficaz contra o ruído que é semelhante a alguns pontos que por vezes aparecem nas imagens, como está ilustrado na imagem.

Nos filtros anteriormente enumerados, o elemento central é um valor recém-calculado que pode ser um valor de um pixel da imagem ou um novo valor, porém, neste filtro, o elemento central é sempre substituído por algum valor de um pixel já existente na imagem.

### 2.3.1.2. Canny



Fig. 2.10 - Figura ilustrativa da função CANNY

Canny Edge Detection [18] é um algoritmo desenvolvido por John F. Canny em 1986 , muito usado na detecção de bordas nas imagens.

Canny propôs que o algoritmo em questão deve ser capaz de identificar todas as bordas possíveis na imagem, sendo que estas devem obter uma localização o mais fiel possível à imagem base.

Cada borda da imagem deve ser marcada apenas uma vez, por isso o ruído da imagem não deve criar bordas falsas que não existam efetivamente.

#### 2.3.1.3. Recursos de contorno [19]

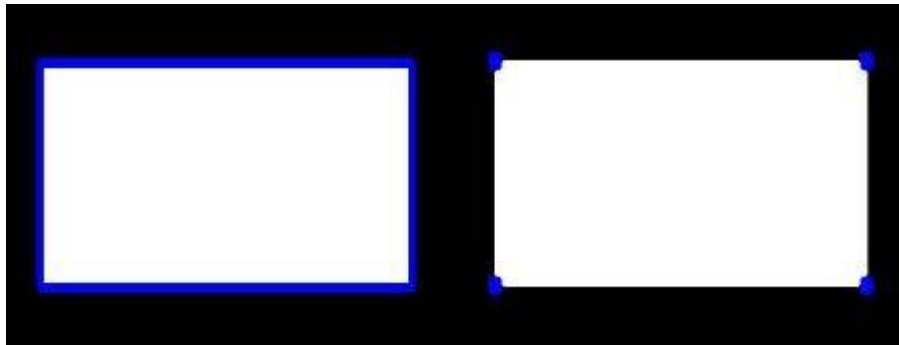


Fig. 2.11 - Figura ilustrativa do algoritmo Recursos de Contorno

Os contornos podem ser definidos como uma curva que une todos os pontos contínuos (ao longo do limite), com a mesma cor ou intensidade.

Os contornos são uma ferramenta útil para análise de formas, através da detecção e reconhecimento de objetos.

#### 2.3.1.4. Transformação geométrica da imagem



Fig. 2.12 - Figura ilustrativa do algoritmo de Transformação geométrica da imagem

As funções nesta seção realizam várias transformações geométricas de imagens 2D, embora o conteúdo da imagem não seja alterado, a grade de pixels e mapeiam essa grade deformada para a imagem de destino.

De fato, para evitar artefactos de amostragem, o mapeamento é feito na ordem inversa, do destino para a fonte. Ou seja, para cada pixel  $(x, y)$  da imagem de destino, as funções calculam as coordenadas do pixel "doador" correspondente na imagem de origem e copiam o valor do pixel.

Isto permite por exemplo ajustar a perspectiva da imagem.

### 2.3.1.5. Thresholding



Fig. 2.13 - Figura ilustrativa da função de Thresholding

O Thresholding [20] é o método mais simples de segmentação de imagens.

A partir de uma imagem em escala de cinza, o limiar pode ser usado para criar binário, ou seja, é atribuído um valor limiar na escala de cinzas, todos os pixels cujo valor de cinza for maior do que esse valor, é-lhes atribuído um valor (pode ser branco), sendo que todos os outros pixels cujo valor de cinza for menor do que esse valor, é-lhes atribuído um outro valor (pode ser preto).

### 2.3.1.6. Hough



Fig. 2.14 - Figura ilustrativa do algoritmo de Hough

O Hough é um algoritmo para detecção de formas que são facilmente parametrizadas (linhas, círculos, elipses, etc.) em imagens digitalizadas. [17]

#### 2.3.1.7. Blob Detection

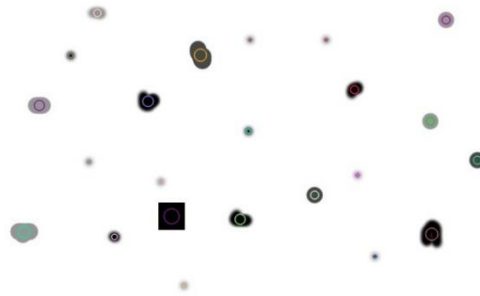


Fig. 2.15 - Figura ilustrativa do algoritmo de Blob Detection

Um Blob é um grupo de píxeis conectados numa imagem que compartilham algumas propriedades em comum (valor de *grayscale* E.g). Na imagem acima, as regiões conectadas escuras são blobs, e o objetivo da detecção de blob é identificar e marcar essas regiões. [2]



## Capítulo 3

### 3. *Hardware*

Neste capítulo é apresentado o hardware utilizado no projeto, bem como a estrutura concebida para elaboração do protótipo.

Serão apresentados também os fatores que levaram à escolha específica deste material.

#### 3.1. Computador de Placa Única - SBC

O computador escolhido para a integração neste sistema foi a *Raspberry Pi 3 model B*, que se caracteriza por ser um computador de placa única, isto é, um computador onde todos os seus constituintes eletrônicos necessários ao seu funcionamento, estão instalados numa única placa de circuito impresso.

Será a partir do computador de placa única que a imagem obtida irá ser processada, permitindo a obtenção dos resultados exigidos.

A rapidez em obter os resultados em tempo real que este sistema requer, fez com que a escolha do computador de placa única incidisse sobre a *Raspberry Pi 3 model B*, que com o novo processador de quatro núcleos 1.2GHz de 64-bit tem velocidade de processamento 10 vezes mais rápida que o seu primeiro modelo *Raspeberry Pi 1*, vem dotado de 1GB de RAM, assim como, Wi-Fi e Bluetooth incorporado.

Por fim, esta escolha deveu-se também a este computador de placa única ter uma câmara exclusiva e por isso permite a captação da imagem que o sistema exige de forma mais eficiente. [\[4\]](#)



Fig. 3.1 - Raspberry Pi 3 model B

## 3.2. Câmara

Como já referido em 3.1, devido à escolha do computador de placa única ser uma *Raspberry Pi*[\[4\]](#), optou-se por usar o módulo PI NoIR Camera V2 [\[3\]](#) para a captação da imagem.

A V2 da gama NoIR apresenta uma câmara de 8MP com possibilidade de tirar fotografias com resolução de 3280 x 2464 píxeis e captação de vídeo em HD 1080p30. 720p60 e 640x480p60/90.

Neste sistema, a sua função é tirar fotografias com uma frequência pré-estabelecida para que estas possam ser processadas e tratadas pelo computador de placa única.

O facto de a Pi NoIR não ter filtro de infravermelhos, permite a possibilidade de ver no escuro com iluminação infravermelha, facto que se torna interessante de aplicar na prática de tiro ao alvo, devido ao facto de esta estar sujeita às condições que envolvem o local da prova.[\[3\]](#)

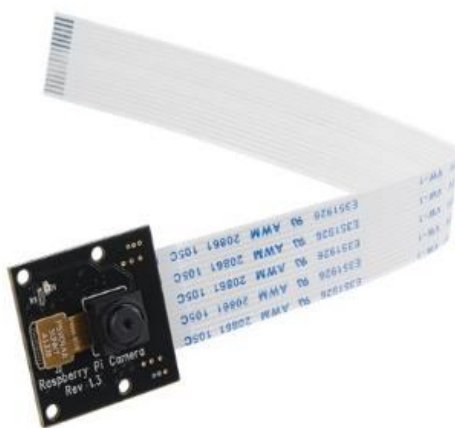


Fig. 3.2 - Módulo PI NoIR Camera V2

### 3.3. Alvo

Existem diferentes alvos para as diferentes categorias da prática deste desporto.

Os alvos nas versões não eletrónicas são feitos de cartão e seguem as normas definidas pela ISSF.[8]

#### 3.3.1. Constituição do alvo

Foi escolhido o alvo de precisão de Pistola 25m e 50m para a realização do projeto.

Alvo de precisão de pistola é constituído por 10 anéis numerados de 1 a 10 com as regiões pontuáveis de 1 a 10, sendo que nas finais as pontuações vão até às décimas de 1.0 a 10.9. A figura 3.3 representa o alvo da categoria seleccionadas para análise.

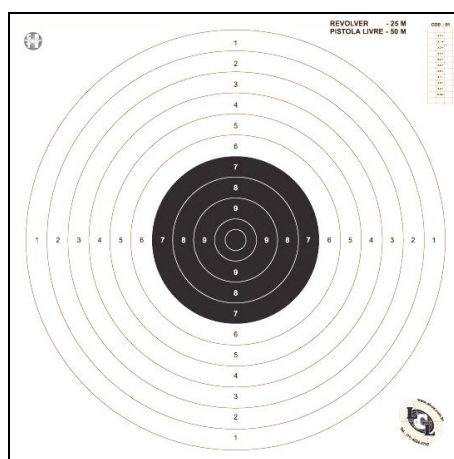


Fig. 3.3 - Módulo PI NoIR Camera V2

A tabela 3.1 representa as dimensões associadas ao alvo utilizado nas categorias P25 e P50.

Tabela 3.1: Dimensões do alvo de precisão categoria P25 e P50

Anel do 10	50	$\pm 0,2$	Anel do 5	300	$\pm 1$
Anel do 9	100	$\pm 0,4$	Anel do 4	350	$\pm 1$
Anel do 8	150	$\pm 0,5$	Anel do 3	400	$\pm 2$
Anel do 7	200	$\pm 1$	Anel do 2	450	$\pm 2$
Anel do 6	250	$\pm 1$	Anel do 1	500	$\pm 2$
Dez interior = 25 mm $\pm 0,2$ mm					
Zona preta: anéis 7 ao 10: 200 mm $\pm 1$ mm					
Espessura dos anéis: 0,2 a 0,5 mm					
Medidas mínimas visíveis do cartão do alvo: 550 mm x 520 - 550 mm (LxA)					

### 3.3.2. Idealização de um novo alvo

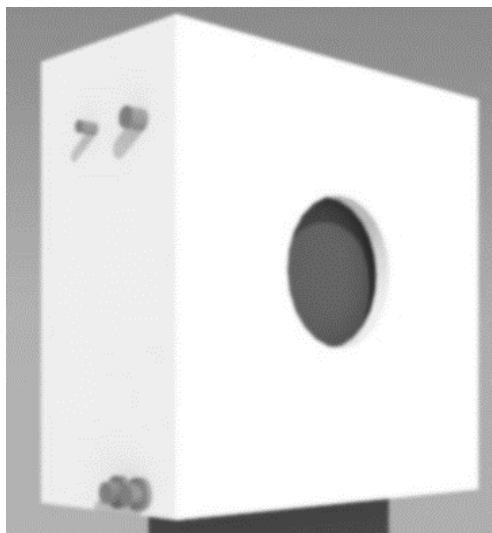


Fig. 3.4 - Modelo para um novo alvo

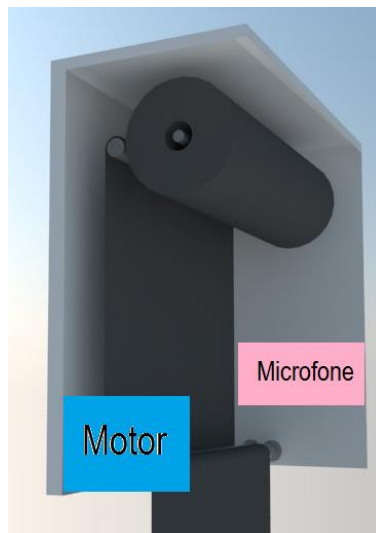


Fig. 3.5 - Modelo para um novo alvo

Foi idealizado um novo alvo para o sistema de modo a substituir o alvo cartão utilizado usualmente.

O alvo seria constituído por uma caixa com um buraco que representa a zona preta.

Por trás desse buraco deveria rolar uma fita, sempre que necessário, com o auxílio de um sistema de roldana comandado por um pequeno motor.

O motor deveria ser ativado sempre que uma nova imagem de um tiro seja adquirida, limpando o alvo para um novo tiro.

A aquisição de imagem seria despoletada através de aquisição sonora da bala com um microfone.

A vantagem principal deste no alvo, seria a possibilidade de se substituir automaticamente, através do sistema referido.

No entanto, dado o limite que a caixa lhe impõe, apenas serviria para a classificação de tiros a partir do anel 7, ou seja, só marcas presentes na zona preta.

### 3.4. Iluminação Infravermelha

Foi aplicada a iluminação infravermelha para controlar a iluminação frontal do alvo, de forma a garantir a captação de uma imagem viável, mesmo que o alvo se encontre em condições adversas de iluminação.

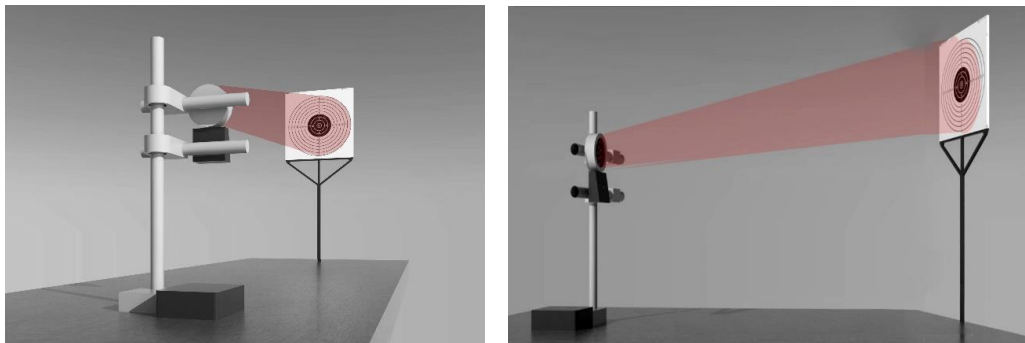


Fig. 3.6 e Fig. 3.7 - Iluminação Infravermelha

Durante o desenvolvimento do trabalho, testou-se também a implementação da iluminação infravermelha atrás do alvo.

Foram testadas duas localizações diferentes para a posição da iluminação, uma em que esta estava diretamente voltada para a câmara e outra posicionada mais abaixo da câmara.

Na primeira hipótese, a iluminação ao estar diretamente voltada para a câmara, produzia um fenómeno de incandescência, fazendo com que a mancha produzida da análise não fosse fiel ao buraco produzido pelo tiro no alvo, sendo que, o seu raio era aumentado de uma forma não regular.

A segunda hipótese, poderá ser uma solução interessante para se explorar futuramente, pois o buraco produzido pelo tiro no alvo era iluminado de uma forma em que o seu contorno era enaltecido e, deste modo, poderia ser possível uma melhor leitura do tiro no alvo.

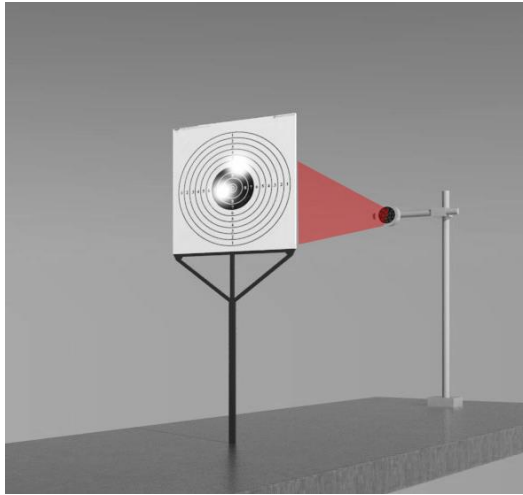


Fig. 3.8 - Hip. 1 - Iluminação diretamente voltada para a câmara - incandescência

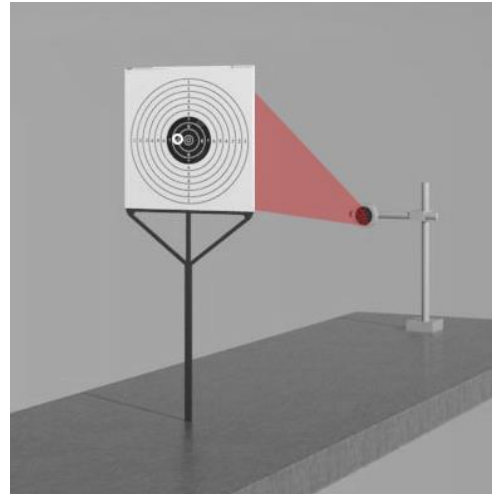


Fig. 3.9 - Hip. 2 - Iluminação localizada a baixo da câmara - enaltece o contorno

### 3.5. Protótipo



Fig. 3.10 - Protótipo do Sistema



**Fig. 3.11 - Protótipo do Sistema - Pormenores**

A - Iluminação Infravermelhos, B - *Raspberry Pi 3 model B*, C - Módulo PI NoIR Camera V2 e D - Tripé

As imagens que se apresentam, ilustram a materialização do protótipo utilizado para este projeto.

Uma vantagem interessante da sua concretização é o facto de o tripé que o constitui permitir o controlo da altura a que o sistema está.

Outra vantagem deste protótipo, é também a facilidade em ajustar o ângulo do sistema de eixos da iluminação InfraRED e da Câmara.

Durante a execução do projeto, o protótipo apresentado estava a uma distância entre 40 a 50 cm do alvo e a uma altura de aproximadamente 110cm.

*Software*



# Capítulo 4

## 4. *Software*

### 4.1. *Software* utilizado

Para o desenvolvimento da algoritmo do projeto recorreu-se ao *OpenCV*.

A *OpenCV* é uma biblioteca de funções de processamento e análise de imagem, é uma ferramenta *open source*, o que permite o seu livre uso tanto a nível académico como comercial.

A sua biblioteca foi desenvolvida nas linguagens de C/C++, porém dá suporte a outras linguagens de programação como *Java*, *Python* e *Visual Basic*.

A linguagem de programação escolhida foi *Python* sobre C++ .

O *Python* é uma linguagem caracterizada pela sua simplicidade e portabilidade, mas também pela sua criatividade, dado que os usuários precisam se preocupar apenas com o algoritmo que pretendem utilizar, e não com os problemas de programação e compilação.

Python é atualmente reconhecido como uma linguagem de computação científica, devido ao vasto conjunto de bibliotecas que providenciam um grande suporte na aprendizagem de visão computacional e *machine learning*.[\[13\]](#). No entanto, comparativamente com C++ a execução do algoritmo é mais demorada.

Como referido anteriormente o *OpenCV* é uma biblioteca desenvolvida nas linguagens de C/C++ dando suporte a Python. Sendo assim, na execução do processamento da imagem, todo o código que invoca *OpenCV* é processada na sua linguagem nativa, ou seja, é processada em C++.[\[2\]](#)

Deverá ser usada a ferramenta certa para o trabalho certo, isto é, o uso de *OpenCV*(Python) deverá ser usado para a idealização de novos algoritmos e o uso *OpenCV*(C++) para a implementação do versão final.

## 4.2. Visão global

Este ponto irá focar-se em três processos essenciais à implementação no *software* acima descrito, no trabalho em si.

- Calibração;
- Centro do Alvo;
- Detecção impactos.

OBSERVAÇÃO: Devido à falta de alvos para análise, foi manipulado o alvo através de tratamento da imagem em Photoshop, de modo a corresponder às necessidades apresentadas.

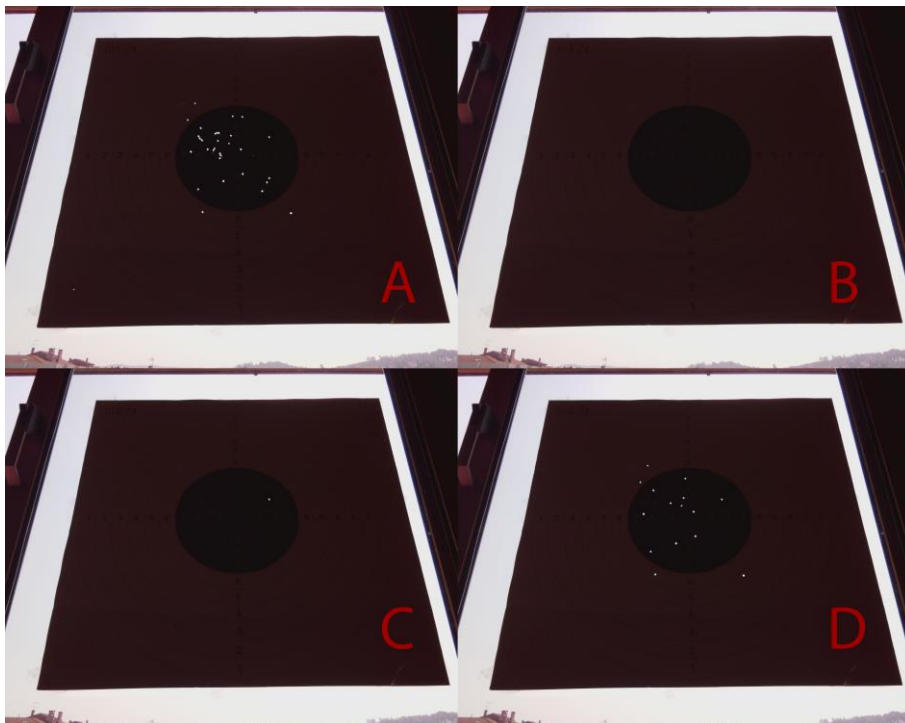


Fig. 4.1- Manipulação da imagem em Photoshop

A - Fotografia adquirida através da camera NoIR.

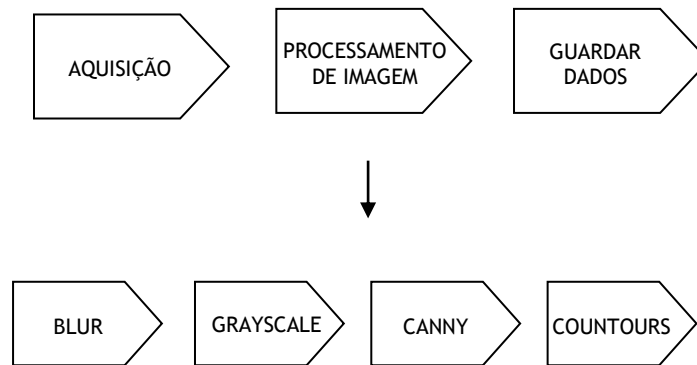
B - Imagem manipulada removendo todos os pontos para ser utilizada nos processos de calibração e localizar o centro do alvo

C- Imagem manipulada removendo todos os pontos exceto um ponto para utilizar o processo de detecção de impactos

D - Imagem manipulada deixando 15 pontos para utilizar o processo de detecção de impactos e analisar resultados

### 4.2.1. Calibração

O processo de calibração, visa encontrar o contorno do alvo, de modo a calcular os 4 pontos correspondentes aos 4 cantos do alvo, para posteriormente se proceder à correcção da perspectiva, através do seu reposicionamento.



#### 4.2.1.1. Aquisição de Imagem

O processo de calibração inicia-se com a captação da imagem do alvo.

A aquisição de imagem é efetuada com o auxílio da biblioteca, *picamera*, que faz interface com o módulo da *Raspberry PI Camera para Python*.[\[3\]](#)

Esta biblioteca contém um determinado conjunto de definições que foram configuradas em modo padrão, sendo que, apenas foi estabelecida a resolução da fotografia de 3000 x 2400 (por motivos que não foram possíveis de apurar no decorrer do trabalho, a câmara dava erro sempre que se tentava tirar fotos com a resolução máxima).[\[4\]](#)

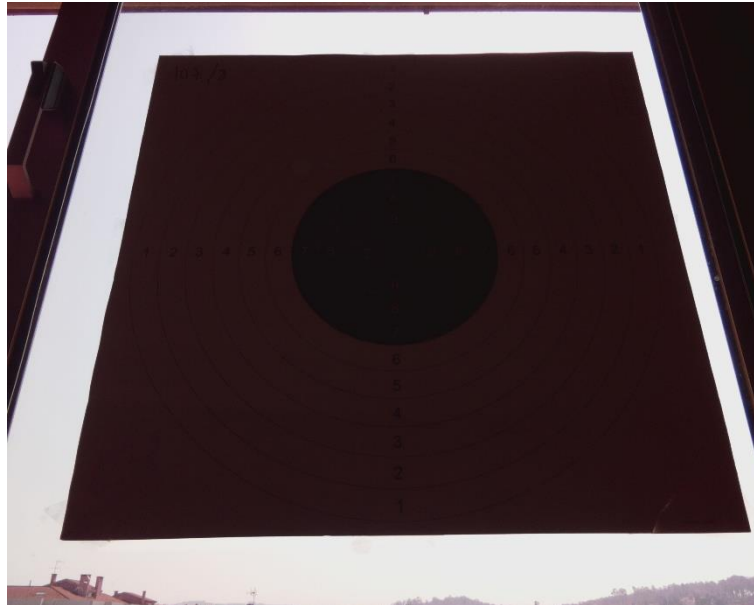


Fig. 4.2- Aquisição da imagem

#### 4.2.1.2. Processamento de imagem

O processamento de imagem visa localizar o perímetro do alvo e as suas extremidades, através de uma sequência de funções e algoritmos aplicados à imagem.

- Medianblur

O Medianblur, descrito de forma geral no ponto 2.3.1.1 do Capítulo 2, é uma função de limpeza de imagem, que quando aplicado a uma imagem elimina parte do ruído nela presente, de modo a facilitar a sua análise.

Deste modo, possibilita uma análise mais eficaz e rápida da imagem.

No caso prático apresentado, a imagem diminuiu de tamanho devido à aplicação desta função, pois passou de 2.24 MB para 0.59 MB.



Fig. 4.3- Aplicação da função de Median Blur

- *Grayscale*

Como as funções e algoritmos aplicados posteriormente só aceitam inputs de imagens com 8-bits, foi necessário transpor a imagem para tonalidades de cinza.

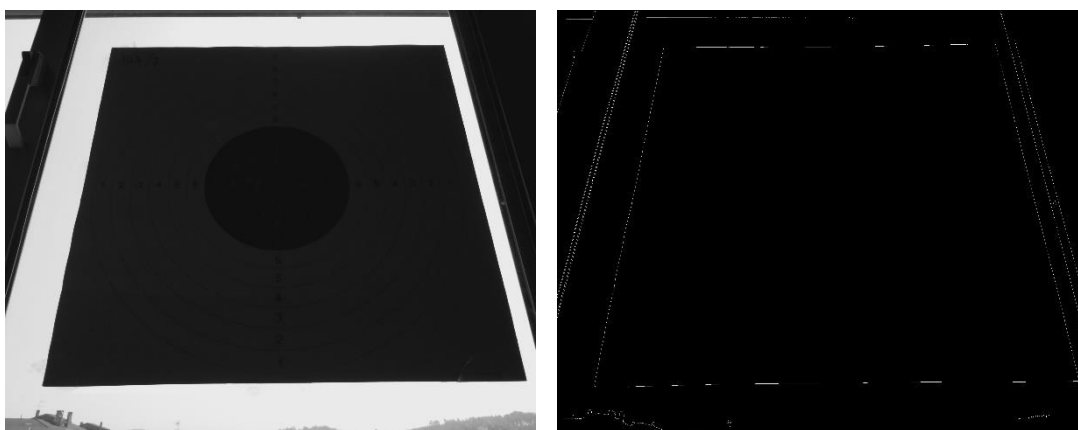
Procedeu-se então à aplicação de uma função que convertesse a imagem a analisar numa imagem dentro da escala de cinzas.



**Fig. 4.4-** Aplicação da função *Grayscale*

- *Canny*

Tal como se explica no ponto 2.3.1.2 do segundo capítulo, a função Canny quando aplicado deteta as bordas da imagem, o que neste caso permite analisar a forma geométrica do alvo.

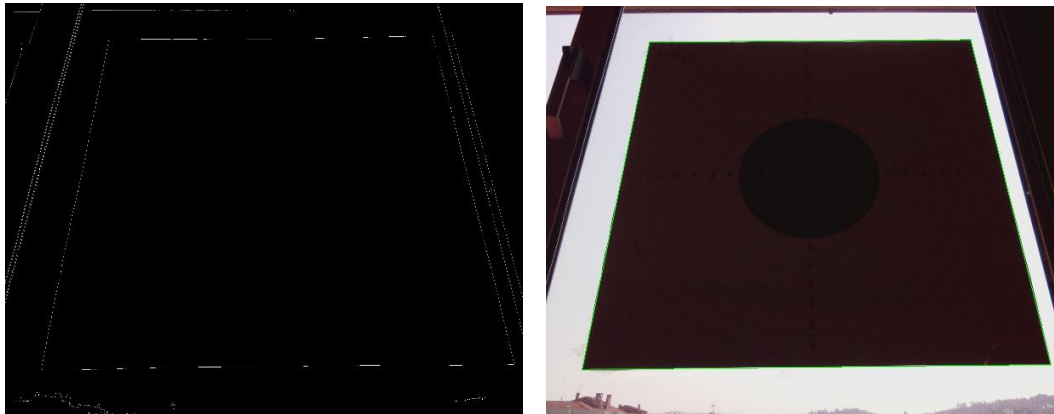


**Fig. 4.5-** Aplicação do função Canny

- Contours

Depois de aplicado a função Canny, é aplicado o algoritmo Countors, de modo a encontrar um quadrilátero com as especificações pretendidas, para que seja possível aferir a localização das extremidades do alvo.

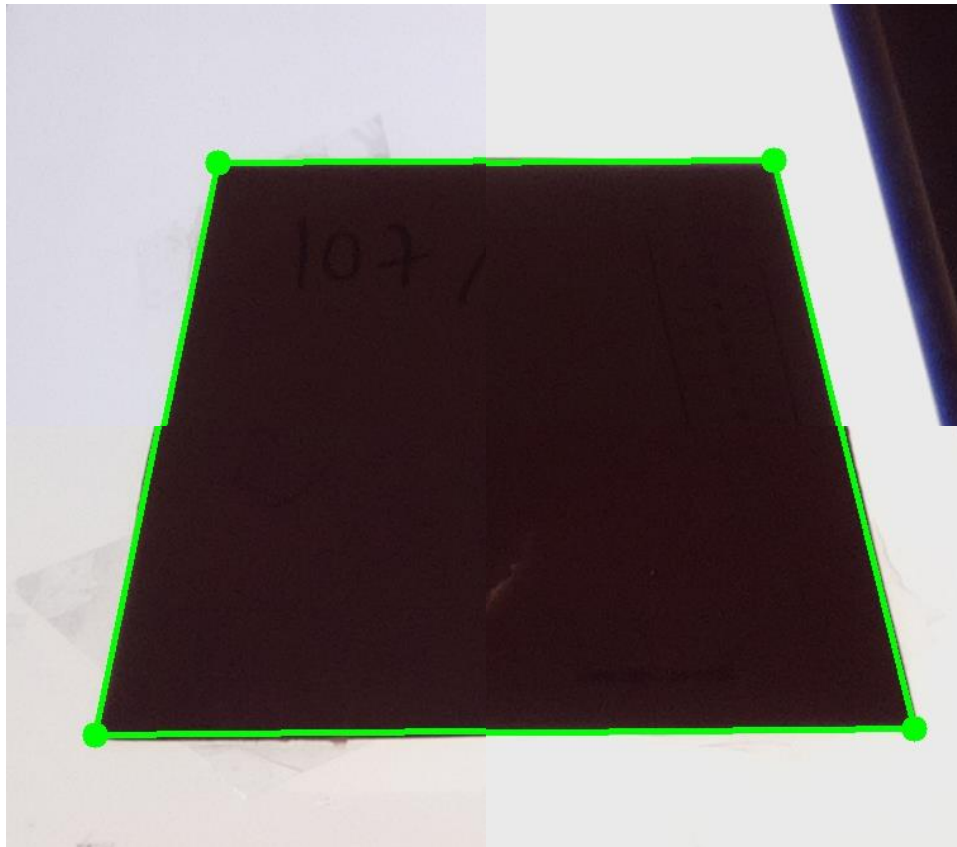
Os recursos de contorno são explicados de forma geral no ponto 2.3.1.3 do Capítulo 2.



**Fig. 4.6-** Aplicação do algoritmo Contours

Através do da aplicação do algoritmo supramencionado, é definido o contorno do quadrilátero e daí são retiradas as extremidades do mesmo.

Podemos observar a localização destes pontos sinalizados com pontos verdes na imagem (Fig. 4.6) que se apresenta de seguida.



**Fig. 4.7** - Reconhecer o contorno do quadrilátero

OBSERVAÇÃO: ao imprimir o contorno do quadrilátero, verifica-se que este apresenta algumas deformações devido a o alvo não se encontrar completamente esticado.

#### 4.2.1.3. Guardar dados

Por fim, são guardadas num vetor as coordenadas encontradas referentes aos cantos do alvo, que posteriormente serão utilizadas no algoritmo de correção da perspectiva.

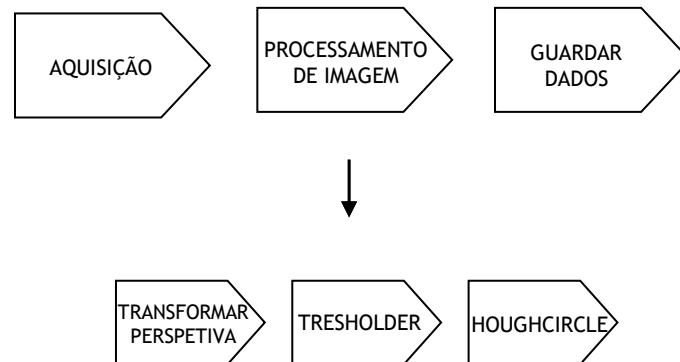
```
tl [ 604. 211.]  
br [ 2946. 2100.]  
tr [ 2479. 197.]  
bl [ 210. 2128.]
```

**Fig. 4.8** - Coordenadas dos cantos do alvo

- tl - Canto superior esquerdo, top left
- br - Canto inferior direito, botton right
- tr - Canto Superior direito, top right
- bl - Canto inferior esquerdo, botton left

#### 4.2.2. Centro do alvo

O processo do centro do alvo tem como objetivo calcular as coordenadas do centro do alvo.



##### 4.2.2.1. Aquisição de Imagem

Após a aplicação do algoritmo de calibração, a imagem que foi adquirida em 4.2.1.1 é reutilizada para aplicação no algoritmo que visa encontrar o centro do alvo.

##### 4.2.2.2. Processamento de imagem

O algoritmo utilizado para o processamento de imagem foi pensado de modo a encontrar o centro do alvo.

- Transformar perspectiva

Através do vetor com as coordenadas dos cantos da imagem, retirados através do algoritmo de calibração 4.2.1. , calcula-se os novos pontos das extremidades aritmeticamente, e com o *cv2.getperspectivetransform* obtém-se a transformada a aplicar.

Utilizando a função *cv2.warpPerspective* aplica-se a transformada calculada na imagem original de modo a corrigir a perspectiva da imagem.

Para definir o tamanho da imagem são necessários os valores em milímetros da largura e altura do alvo que se está a analisar.

Neste caso, o Alvo possui 539mm de largura e 520mm de altura.

Foi usado como fator multiplicativo o valor 4 para atribuir a cada 1 mm 4 pixéis, um pixel tem assim 0.25mm de lado.



Sendo assim, a resolução da imagem corrigida para o alvo analisado terá 2156 x 2080 píxeis.

De seguida, utiliza-se a função `cv2.resize` para definir as dimensões pretendidas, tendo em conta, que para achar o fator mutiplicativo de x é necessario dividir a largura pretendida pela largura obtida através do algoritmo *warpPerspective* ( $fx = \text{pretendwidth}/\text{maxwidth}$ ), e para y é necessario dividir a altura pretendida pela altura obtida através do algoritmo *warpPerspective* ( $fy = \text{pretendHeight}/\text{maxHeight}$ ), sendo que estes valores estão em píxeis.

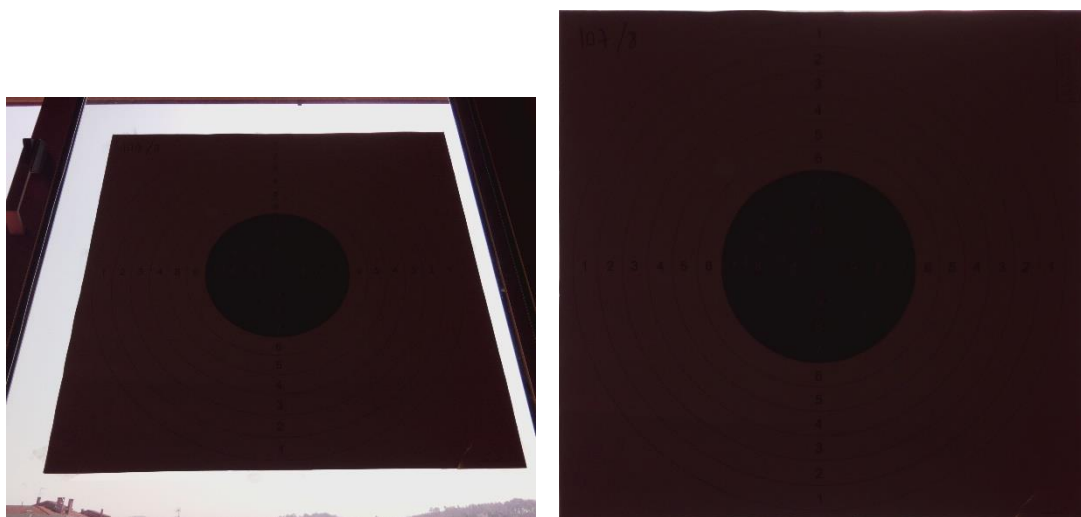


Fig. 4.9 - Transformar a perspectiva da imagem

- Thresholder inverso

Usa-se thresholder invertido, analisado em 2.3.1.5, para adquirir uma imagem do círculo do alvo de 7 a 10, evidenciado a branco na Fig. 4.8.



Fig. 4.10 - Aplicação da função Thresholder inverso

- HoughCircles

Utiliza-se o algoritmo HoughCircles, analisado em 2.3.1.6, para encontrar a circunferência através da área branca obtida através da função Threshold aplicado anteriormente, que representa a zona preta do alvo na imagem original.[17] e [25]



Fig. 4.11 - Aplicação do algoritmo Hough circles

#### 4.2.2.3. Guardar dados

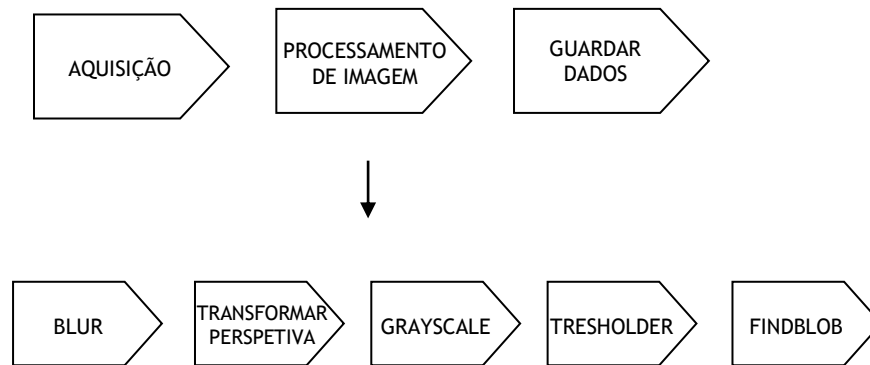
Por fim, são guardadas as coordenadas da posição do centro do alvo e calculado o raio da circunferência que representa a zona preta do alvo.

```
centro 1057 1051
raio 99.75
```

Fig. 4.12 - Coordenadas do centro do alvo

#### 4.2.3. Detecção de Impactos

O processo de detecção de impactos visa encontrar o centro do impacto e calcular a respetiva distância/pontuação.



##### 4.2.3.1. Aquisição de imagem

A aquisição da imagem é efetuada assim que um tiro seja efetuado.

Embora no sistema atual se pressione a tecla *space* para captar a imagem, futuramente o processo será automático com implementação de um sensor que será acionado pelo disparo.

##### 4.2.3.2. Processamento de imagem:

O processamento de imagem é novamente efetuado de modo a encontrar as marcas causadas pelos disparos.

- Medianblur

Como visto no ponto 4.2.1., é utilizado para limpar a imagem.

- Transformar perspectiva

Como visto no ponto 4.2.2, é utilizado para corrigir a perspectiva da imagem com os valores obtidos no processo de calibração 4.2.1.

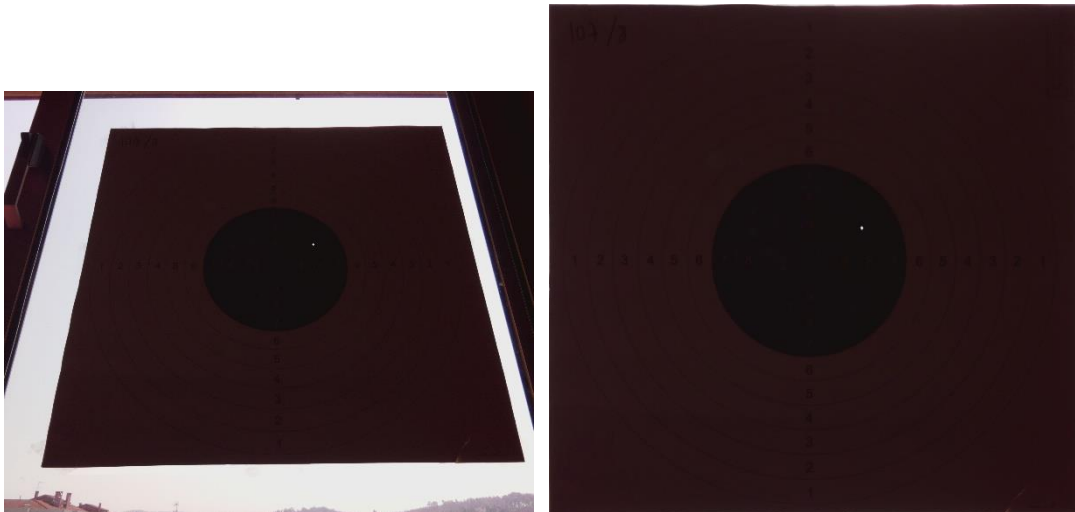


Fig. 4.13 - Transformação da perspectiva da imagem

- *Grayscale*

Como visto no ponto 4.2.1., a imagem é convertida para uma escala de cinzas.

- *Tresholder*

A função de Tresholder foi utilizado da mesma forma que é elucidado em 4.2.1, mas agora com alteração do valor de *tresholder* e sem inversão, de modo a captar apenas as marcas dos disparos no alvo.

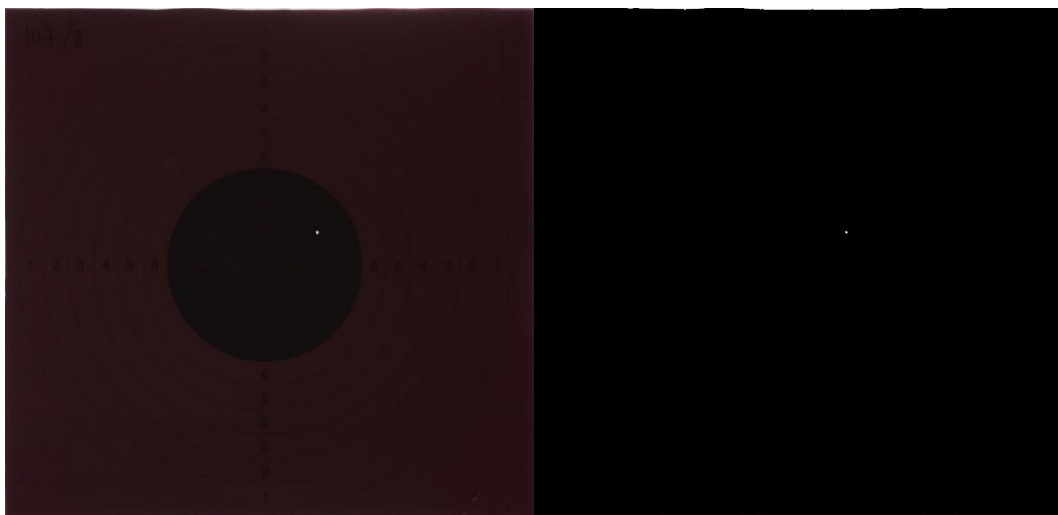


Fig. 4.14 - Tresholder para captação dos disparos

- *Findblobs*

Findblob é função utilizada para detetar a marca do disparo, como já foi analisado de forma genérica em 2.3.1.7.

Foram ajustados os parametros do algoritmo, tais como a área máxima e mínima, de modo a obter apenas as marcas causadas pelos disparos.



Fig. 4.15 - Aplicação do algoritmo Findblob

Por fim, as coordenadas são lidas no vetor, com o propósito de guardar a posição do centro da blob encontrada.

#### 4.2.3.3. Guardar Dados

A distância é calculada pela norma do centro do alvo adquirido em 4.2.2 e o centro do impacto que é adquirida pela função Findblob analisada anteriormente 4.2.3.2., sendo no final subtraído o raio do calibre da munição utilizada.

O calibre usado é o 0.22lb, que corresponde a um diametro de 5.5mm.

$$\text{Distância} = (\text{norm}(\text{centro}_{\text{alvo}} - \text{centro}_{\text{blob}}) - \text{calibre}/2)$$

A pontuação é definida dada a função:

$$\text{Pontuação} = 10.99996 - (1/25) * \text{Distância}$$

Tabela 4.1- Relação entre a Pontuação com a Distância mínima e máxima

Distância (mm)		Pontuação
Mínimo	Máximo	
0	2,49	10,9
22,5	24,99	10,0
47,5	49,99	9,0
72,5	74,99	8,0
97,5	99,99	7,0
122,5	124,99	6,0
147,5	149,99	5,0
172,5	174,99	4,0
197,5	199,99	3,0
222,5	224,99	2,0
247,5	249,99	1,0

O valor mínimo e máximo representam os limites da distância em milímetros para o qual é atribuído a pontuação indicada.

Abaixo encontra-se o gráfico que representa a variação da pontuação em relação à distância ao centro da marca do disparo.

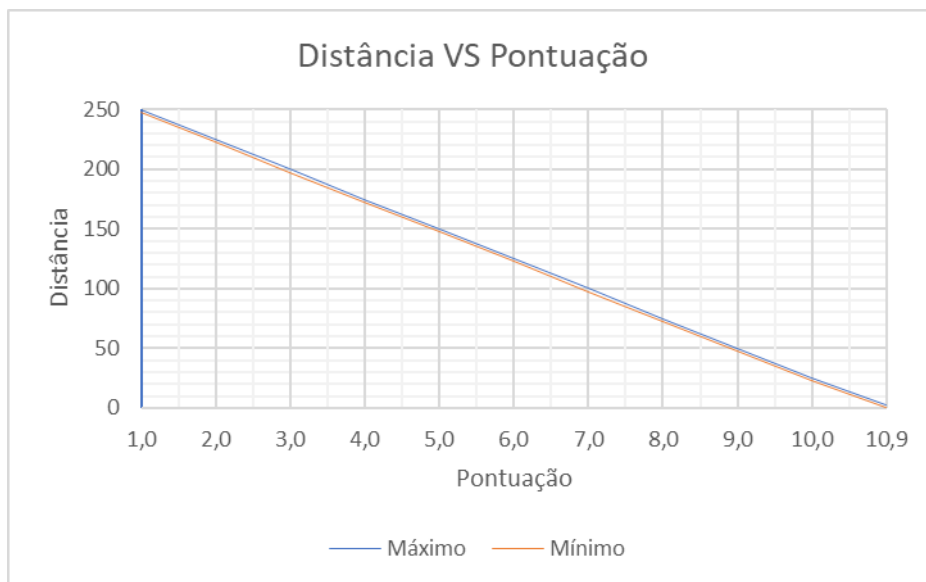


Fig. 4.16 - Gráfico da Relação entre a Pontuação com a Distância mínima e máxima

# Capítulo 5

## 5. Resultados

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com o protótipo implementado.

Como já referido anteriormente, devido à falta de alvos para análise, foi manipulado o alvo através de tratamento da imagem em Photoshop, de modo a corresponder às necessidades apresentadas.

### 5.1 Obtenção de resultados

Após a concretização do algoritmo idealizado, este foi implementado no protótipo construído.

Os resultados obtidos foram disponibilizados na linha de comando gerando uma imagem, onde é identificado o buraco com a respetiva pontuação.

O algoritmo usado no caso abaixo é apenas implementado a um disparo de cada vez.

## Resultados

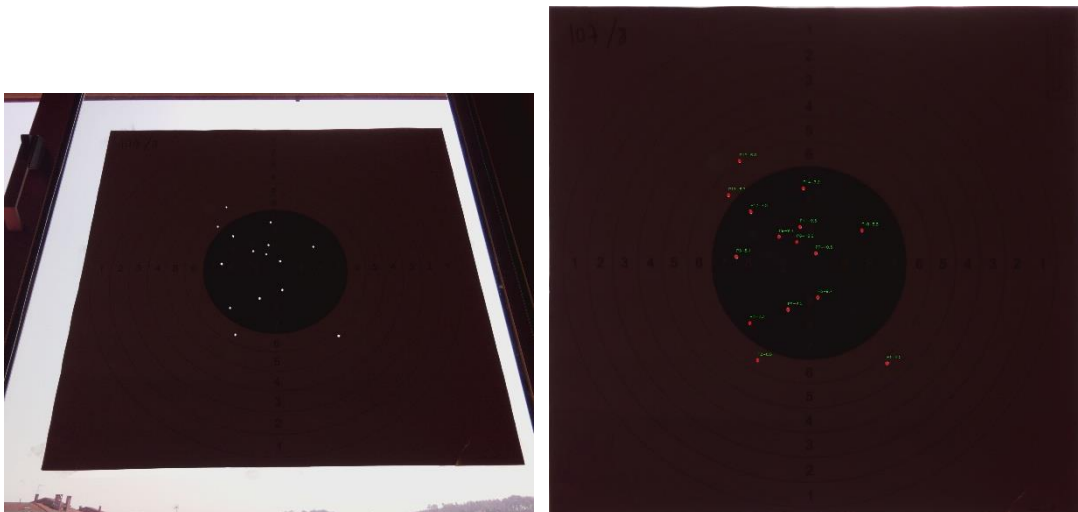


Fig. 5.1 - Pontuação de um disparo

```
A distance do ponto é de 60.89 mm, o que dá uma pontuação final de 8.4 pontos  
>>>
```

Fig. 5.2 - Informação da pontuação do disparo na consola

O mesmo alvo foi analisado, mas agora com a marca de 15 disparos em simultâneo.





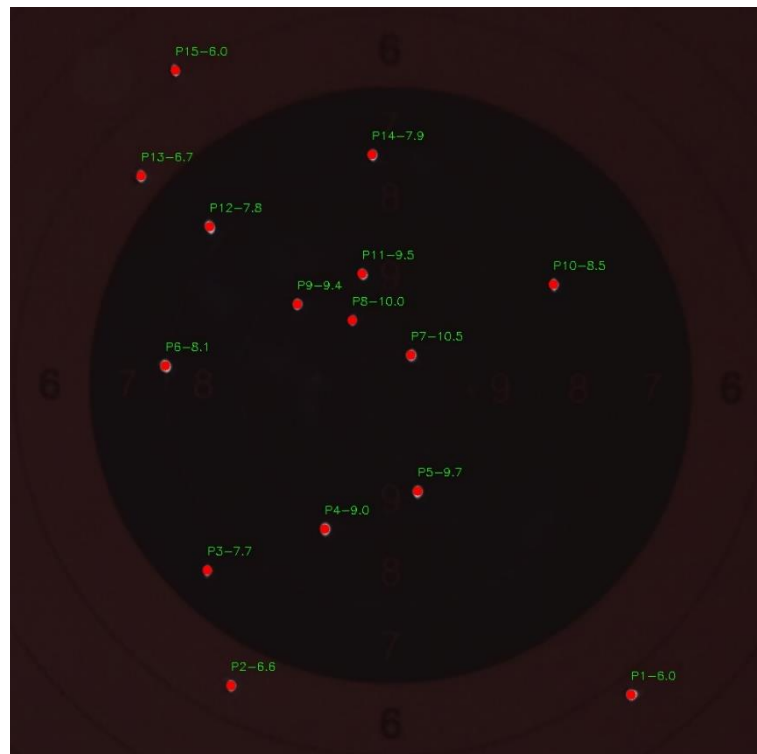


Fig. 5.3 - Pontuação de 15 disparos

```
>>>
A distance do ponto 1 é de 124.55 mm, o que dá uma pontuação final de 6.0 pontos
A distance do ponto 2 é de 107.62 mm, o que dá uma pontuação final de 6.6 pontos
A distance do ponto 3 é de 81.82 mm, o que dá uma pontuação final de 7.7 pontos
A distance do ponto 4 é de 47.74 mm, o que dá uma pontuação final de 9.0 pontos
A distance do ponto 5 é de 31.56 mm, o que dá uma pontuação final de 9.7 pontos
A distance do ponto 6 é de 71.82 mm, o que dá uma pontuação final de 8.1 pontos
A distance do ponto 7 é de 10.53 mm, o que dá uma pontuação final de 10.5 pontos
A distance do ponto 8 é de 23.74 mm, o que dá uma pontuação final de 10.0 pontos
A distance do ponto 9 é de 39.24 mm, o que dá uma pontuação final de 9.4 pontos
A distance do ponto 10 é de 60.89 mm, o que dá uma pontuação final de 8.5 pontos
A distance do ponto 11 é de 36.74 mm, o que dá uma pontuação final de 9.5 pontos
A distance do ponto 12 é de 77.56 mm, o que dá uma pontuação final de 7.8 pontos
A distance do ponto 13 é de 105.5 mm, o que dá uma pontuação final de 6.7 pontos
A distance do ponto 14 é de 75.0 mm, o que dá uma pontuação final de 7.9 pontos
A distance do ponto 15 é de 124.26 mm, o que dá uma pontuação final de 6.0 pontos
>>> |
```

Fig. 5.4 - Informação da pontuação dos 15 disparos na consola

OBSERVAÇÕES: As imagens são guardadas para futura consulta.

## 5.2. Comparação e análise

Devido a não terem sido efetuados testes do algoritmo a alvos já referenciados, as referências presentes nesta comparação e análise foram captadas através do método de detecção manual, por forma a se poder estabelecer uma comparação entre resultados.

**Tabela 5.1 - Comparação da Distância (mm) - Protótipo VS Referência**

Disparo	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Protótipo (mm)	124,6	107,6	81,8	47,7	31,6	71,8	10,5	23,7
Referência (mm)	130,0	112,0	85,0	52,0	35,0	74,0	12,0	25,0
Diferença (mm)	-5,5	-4,4	-3,2	-4,3	-3,4	-2,2	-1,5	-1,3
Disparo	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	
Protótipo (mm)	39,2	60,9	36,7	77,6	105,5	75,0	124,3	
Referência (mm)	41,0	63,0	37,0	78,0	107,0	76,0	126,0	
Diferença (mm)	-1,8	-2,1	-0,3	-0,4	-1,5	-1,0	-1,7	

**Tabela 5.2 - Comparação da Pontuação - Protótipo VS Referência**

Disparo	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Protótipo	6,0	6,6	7,7	9,0	9,7	8,1	10,5	10,0
Referência	5,7	6,5	7,5	8,9	9,5	8	10,5	9,9
Diferença	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1
Disparo	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	
Protótipo	9,4	8,5	9,5	7,8	6,7	7,9	6	
Referência	9,3	8,4	9,5	7,8	6,7	7,9	5,9	
Diferença	0,1	0,1	0	0	0	0	0,1	

Para o cálculo da Pontuação de Referência foi utilizada a função descrita em 4.2.3.3.

$$\text{Pontuação} = 10.9996 - \text{Distância}/25$$

Na comparação da distância podemos verificar que os disparos situados nos quadrantes inferiores, nomeadamente os pontos P1 a P5, sofrem um maior erro em comparação aos quadrantes superiores, P6 a P15.

Esta situação pode ser facilmente explicada se observarmos o resultado do algoritmo HoughCircles (2.3.1.6) utilizado para encontrar o centro do alvo.

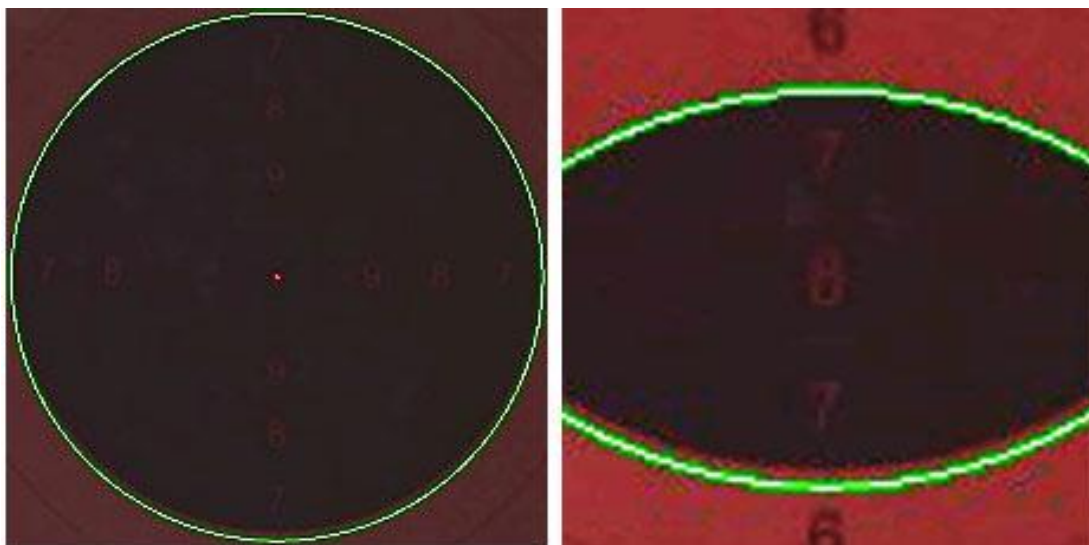


Fig. 5.5 - Resultado de HoughCircles

Na utilização desta função, como se pode observar na imagem, o círculo desenhado que representa a detecção do círculo com a função HoughCircle, encontra-se desfasado face à área preta.

Esta forma deveria representar um círculo perfeito, porém apresenta-se com um certo desfasamento, formando uma elipse.

As causas para esta deformação do centro do alvo prendem-se com os seguintes fatores:

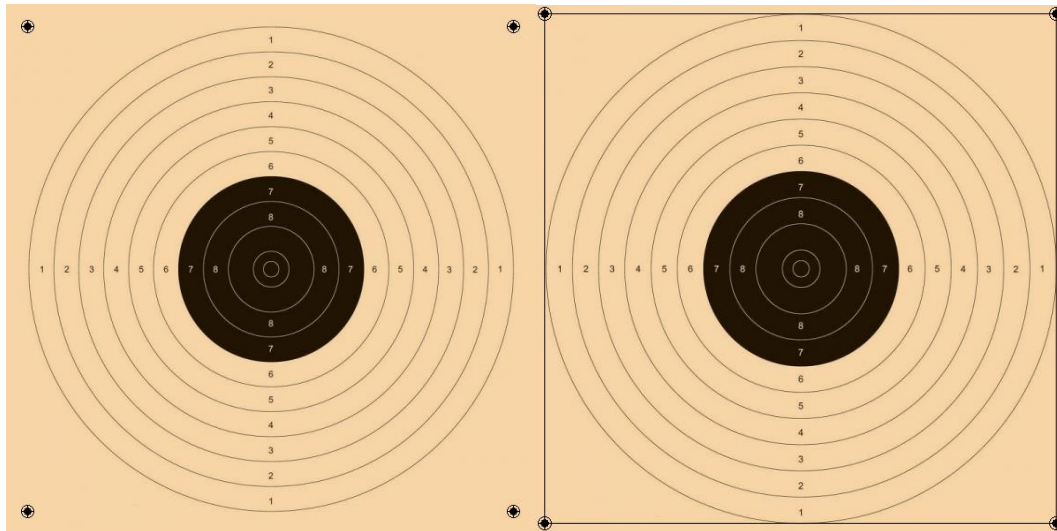
- Pontos de calibração

Os pontos de calibração usados para a correção da perspetiva foram retirados através do algoritmo apresentado em 4.2.1, onde é utilizado o contorno do alvo para retirar a posição dos cantos do mesmo, e onde foi medida a altura e largura do mesmo de forma manual, para estabelecer a relação de distância dentro do alvo.

No entanto, o contorno dos alvos não apresenta as medidas impostas pela ISSF e nada garante que se trate de um retângulo ou de um quadrilátero com ângulos 90°.

Para corrigir esta situação deverão ser implementadas marcas a volta do alvo que correspondem aos cantos de um quadrado nos limites do alvo.

O quadrado terá de lado o mesmo valor do diâmetro do alvo, neste caso 500mm.



**Fig. 5.6** - Calibração da imagem através de marcas de calibração

- **Distorções no alvo**

O alvo apresenta algumas distorções na sua planificação, o que influenciou as coordenadas atribuídas aos pixéis.

Como podemos visualizar na imagem abaixo, retirada do ponto 4.2.1 na correção da perspectiva, notamos que há uma deformação ao longo da largura do limite superior do alvo.



**Fig. 5.7** - Limite superior do alvo - observação da deformação

Para resolver este problema é necessário que o alvo esteja completamente esticado não tendo qualquer tipo de deformação.

É também interessante observar que existem erros de pontuação maiores do que outros, mesmo que os respetivos erros de distância sejam menores entre si, dependendo a posição que ocupam no alvo.

Comparando os disparos P2 e P4 com os disparos P3 e P5 observamos que o P2 e P4 têm discrepâncias nas distâncias de 4,3 e 4,4 mm, o que resulta num erro final de 0,1 pontos.

Em contrapartida, os disparos P3 e P5 com discrepâncias de medição menores de 3.2 e 3.4, apresentam um erro final de 0,2.

De modo a perceber qual a razão da variação é necessário recuperar a distância dos disparos P2 e P3.

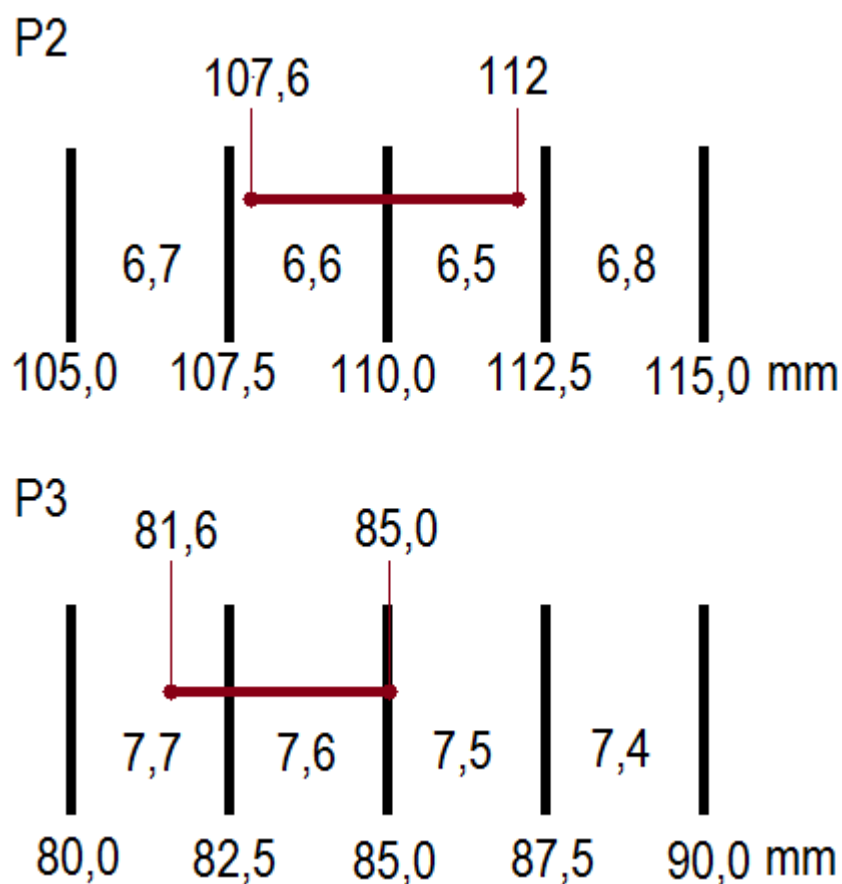


Fig. 5.8 - Explicação dos erros de pontuação nos disparos P2 e P3

Como podemos observar através do disparo de P2 a variação de uma casa decimal deveu-se ao facto de que a posição dos tiros, o adquirido com o protótipo e o de referência, mesmo estando afastados 4,4 mm, são vizinhos na pontuação apenas afastados por 0.1 pontos.

Já em o disparo P3 a variação de duas casas decimais deveu-se ao facto de que a posição dos tiros, o adquirido com o protótipo e o de referência, mesmo estando afastados 3,2 mm não são vizinhos na pontuação estando assim afastados por 0.2 pontos.

Tabela 5.3 - Variação do erro da pontuação em relação ao erro da distância

Tipo		1	2	3	4	5	6	7
Erro (mm)	Min	0	0	2,6	5,1	7,6	10,1	12,6
	Max	0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
Erro Pontuação		0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.3	0.3 - 0.4	0.4 - 0.5	0.5 - 0.6

A tabela 5.3 representa a variação do erro da pontuação, consoante a distância de erro para valores compreendidos entre mínimo e máximo.

## Resultados

A distância de erro influencia o incremento 0.1 valores de erro de pontuação a cada 2,5 mm percorridos.

O incremento do erro na pontuação também ocorre caso o valor resto da divisão erro de distância pelo valor de incremento, que é de 2,5mm, seja maior que a distância do limite do incremento do erro.

## Capítulo 6

O capítulo 6 é o capítulo final que apresenta as conclusões a que se chegou no final da elaboração do projeto de dissertação e apresenta propostas para o melhoramento do trabalho.

## 6. Conclusão e Trabalho Futuro

### 6.1 Conclusão

A presente dissertação teve como objetivo o desenvolvimento de um protótipo para integrar um sistema de pontuação em tempo real para a prática de tiro desportivo, em alternativa aos sistemas já existentes.

O projeto de dissertação foi iniciado com o estudo de sistemas de pontuação existentes, tendo sido analisadas as suas características e desempenho, o que foi importante para traçar os objetivos deste trabalho.

Da revisão bibliográfica sobre a aquisição e processamento de imagem realizada para este estudo, foi levantada uma lista de especificações, de modo a desenvolver um protótipo que garantisse não só mais eficiência nos resultados, mas também menores custos de produção.

Para a execução do algoritmo e sendo especificado que se tratava de um computador de placa única, a escolha foi a *Raspberry PI 3*, sendo este a melhor solução no mercado tendo em conta preço/qualidade.

Devido às condições exteriores adversas que por vezes estão expostas as carreiras de tiro, pensou-se que para o controlo da luminosidade a câmara que captaria a imagem não deveria ter filtro de infravermelhos, sendo apoiada por um sistema de luminosidade infravermelha,

de modo a ser possível adquirir melhores imagens mesmo em ambientes com baixa luminosidade.

A nível de *software* a escolha recaiu para *OpenCV*(Python), pela simplicidade do código, o que permitiu trabalhar de forma mais interessante o algoritmo ao longo do projeto.

Durante a análise de resultados da execução de uma simulação de tiro com o protótipo desenvolvido, foram captados erros que eram expectáveis, mas também as suas causas o que pode ser um reforço positivo na continuidade deste projeto.

## 6.2 Trabalho Futuro

Como referido, o sistema implementado poderá ser melhorado em alguns pontos que passo a referenciar:

- **Corrigir / alterar algoritmo de calibração** - para uma maior precisão nos resultados, a calibração do alvo deverá ser feita com o auxílio de marcas de calibração e não pelo contorno do alvo;
- **Aquisição sem deformações** - é sem dúvida importante garantir que o alvo não apresente qualquer tipo de deformações na sua planificação, de modo a não comprometer a análise de imagem efetuada ao longo do algoritmo;
- **Sistema de deteção de impactos** - seria interessante futuramente inserir um sistema capaz de efetuar a deteção de impactos, como por exemplo, um sensor sonoro, de modo a que aquisição de imagem seja feita automaticamente;
- **Rede *wireless*** - atualmente o sistema é visualizado através de VPN (*Wireless*), mas seria mais cómodo haver uma ligação interna Ponto a Ponto e a partilha das imagens obtidas através da *web browser*;
- **C++** - com o algoritmo criado e de modo a obter um programa mais rápido, o ideal será converter o algoritmo de Python para C++, pois sendo assim, a velocidade de execução do algoritmo será de certo superior.



# Referências

- [1] Anon., s.d. *Homepage | Opensource*. [Online]  
Available at: <https://opensource.com/life/16/10/which-raspberry-pi-should-you-choose-your-project>  
[Acedido em 29 Março 2017].
- [2] Anon., s.d. *Learn OpenCV ( C++ / Python )*. [Online]  
Available at: <https://www.learnopencv.com/blob-detection-using-opencv-python-c/>  
[Acedido em 20 Maio 2017].
- [3] Anon., s.d. *Picamera*. [Online]  
[Acedido em 03 Junho 2017].
- [4] Anon., s.d. *Raspberry Pi - Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi*. [Online]  
Available at: <https://www.raspberrypi.org/products/pi-noir-camera-v2/>  
[Acedido em 20 Março 2017].
- [5] Carvalho, M. A. G., s.d. *Microsoft PowerPoint - palestraPDI\_unisantos2004*. [Online]  
Available at:  
[http://www.ft.unicamp.br/~magic/Gerais/jornada\\_unisantos2004.PDF](http://www.ft.unicamp.br/~magic/Gerais/jornada_unisantos2004.PDF)  
[Acedido em 25 Abril 2017].
- [6] Federação Portuguesa de Tiro, s.d. *Federação Portuguesa de Tiro - História*. [Online]  
Available at: <http://www.fptiro.net/gca/?id=50>  
[Acedido em 28 Maio 2017].
- [7] Federação Portuguesa de Tiro, s.d. *Federação Portuguesa de Tiro - Modalidades*. [Online]  
Available at: <http://fptiro.pt/modalidades/>  
[Acedido em 25 Abril 2017].
- [8] Federação Portuguesa de Tiro, s.d. *Federação Portuguesa de Tiro - Regulamento Técnico*. [Online]

- Available at: [http://fptiro.net/data/regulamentos/regras\\_tecnicas\\_geral.pdf](http://fptiro.net/data/regulamentos/regras_tecnicas_geral.pdf)  
[Acedido em 24 Março 2017].
- [9] Governo Federal do Brasil, s.d. *Portal Oficial do Governo Federal sobre os Jogos Olímpicos e Paralímpicos de 2016*. [Online]  
Available at: <http://www.brasil2016.gov.br/pt-br/olimpiadas/modalidades/tiro-esportivo>  
[Acedido em 10 Junho 2017].
- [10] HEX Systems Pty Ltd, s.d. *Acoustic chamber targets: what you need to know | HEX Systems Pty Ltd*. [Online]  
Available at: <http://www.hexsystems.com.au/productdescription/acoustic-chamber-targets-what-you-need-to-know/>  
[Acedido em 20 Junho 2017].
- [11] Howse, J., 2013. *OpenCV Computer Vision with Python*. Birmingham, UK: Packt Publishing.
- [12] ISSF, s.d. *ISSF - International Shooting Sport Federation*. [Online]  
Available at: [www.issf-sports.org](http://www.issf-sports.org)  
[Acedido em 13 Abril 2017].
- [13] Langtangen, H. P., 2008. *Python Scripting for Computational Science*. Noruega: Springer.
- [14] Medeiros, A., s.d. *Processamento Digital de Imagens - Fundamentos e Aplicações*. [Online]  
Available at: <https://pt.slideshare.net/aldisiogm/apresentacao-pdi>  
[Acedido em 16 Maio 2017].
- [15] MEGALINK, s.d. *Microsoft PowerPoint - 3D-Score-Engelsk - v14\_2017*. [Online]  
Available at: <http://www.megalink.dk/Downloads/3D-Score-English.pdf>  
[Acedido em 17 Maio 2017].
- [16] OpenCV, s.d. *Geometric Image Transformations*. [Online]  
Available at:  
[http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/geometric\\_transformations.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/geometric_transformations.html)  
[Acedido em 3 Maio 2017].
- [17] OpenCV, s.d. *Hough Lines*. [Online]  
Available at:  
[http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough\\_lines/hough\\_lines.html](http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough_lines/hough_lines.html)  
[Acedido em 8 Maio 2017].

- [18]OpenCV, s.d. *OpenCV: Canny Edge Detection*. [Online]  
Available at: [http://docs.opencv.org/trunk/da/d22/tutorial\\_py\\_canny.html](http://docs.opencv.org/trunk/da/d22/tutorial_py_canny.html)  
[Acedido em 25 Maio 2017].
- [19]OpenCV, s.d. *OpenCV: Contours : Getting Started*. [Online]  
Available at:  
[http://docs.opencv.org/trunk/d4/d73/tutorial\\_py\\_contours\\_begin.html](http://docs.opencv.org/trunk/d4/d73/tutorial_py_contours_begin.html)  
[Acedido em 13 Maio 2017].
- [20]OpenCV, s.d. *OpenCV: Image Thresholding*. [Online]  
Available at:  
[http://docs.opencv.org/3.2.0/d7/d4d/tutorial\\_py\\_thresholding.html](http://docs.opencv.org/3.2.0/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html)  
[Acedido em 06 05 2017].
- [21]OpenCV, s.d. *OpenCV: Q&A Forum*. [Online]  
Available at: <http://answers.opencv.org/question/3404/is-opencv-in-c-or-c-significantly-faster-than-python/>  
[Acedido em 29 Maio 2017].
- [22]OpenCV, s.d. *OpenCV: Smoothing Images*. [Online]  
Available at: [http://docs.opencv.org/3.1.0/d4/d13/tutorial\\_py\\_filtering.html](http://docs.opencv.org/3.1.0/d4/d13/tutorial_py_filtering.html)  
[Acedido em 01 Maio 2017].
- [23]Pinheiro, A. M. G., s.d. *picvmi.pdf*, Beira Interior: s.n.
- [24]POLYTRONIC, s.d. *POLYTRONIC - TG 6050 HS*. [Online]  
Available at: <http://www.polytronic.ch/en/products.html>  
[Acedido em 18 Junho 2017].
- [25]Rosebrock, A., s.d. *PyImageSearch*. [Online]  
Available at: <http://www.pyimagesearch.com/2014/07/21/detecting-circles-images-using-opencv-hough-circles/>  
[Acedido em 03 Maio 2017].
- [26]SIUS AG, s.d. *SIUS*. [Online]  
Available at: <http://www.sius.com>  
[Acedido em 16 Junho 2017].
- [27]SIUS AG, s.d. *SIUS AG - HS25/50 HYBRIDSCORE*. [Online]  
Available at:  
[http://www.sius.com/en/03.15\\_Produnkte\\_Sport\\_Scheiben\\_HS10.html](http://www.sius.com/en/03.15_Produnkte_Sport_Scheiben_HS10.html)  
[Acedido em 16 Junho 2017].
- [28]SIUS AG, s.d. *SIUS AG - LS10*. [Online]  
Available at:  
[http://www.sius.com/en/03.14\\_Produnkte\\_Sport\\_Scheiben\\_LS10.html](http://www.sius.com/en/03.14_Produnkte_Sport_Scheiben_LS10.html)  
[Acedido em 16 Junho 2017].

[29]SIUS AG, s.d. *SIUS AG - S101*. [Online]

Available at:

[http://www.sius.com/en/03.17.2\\_Produnkte\\_Sport\\_Scheiben\\_S101.html](http://www.sius.com/en/03.17.2_Produnkte_Sport_Scheiben_S101.html)

[Acedido em 16 Junho 2017].